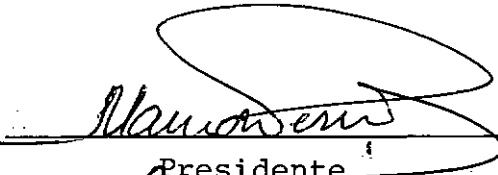
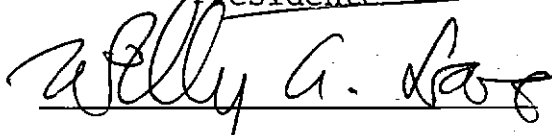
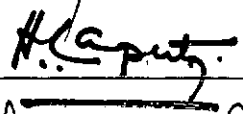
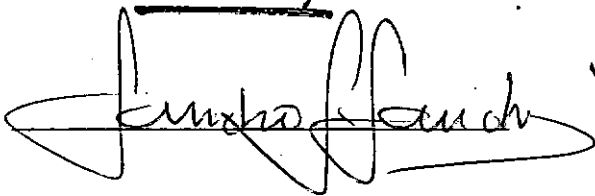


ENSAIOS DE PALHETA DE CAMPO EM
ARGILAS MOLES DA BAIXADA FLUMINENSE

HAROLDO BRAUNE COLLET

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PRO
GRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊN-
CIAS (M. Sc.)

APROVADO POR:


Presidente




RIO DE JANEIRO

ESTADO DO RIO DE JANEIRO - BRASIL

ABRIL DE 1978

FICHA CATALOGRÁFICA

COLLET, HAROLDO BRAUNE

Ensaio de Palheta de Campo em Argilas Moles da
Baixada Fluminense (Rio de Janeiro) 1976

X, 243p 29,7cm (COPPE-UFRJ, M.Sc., Engenharia Ci
vil, 1978)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro Fa
culdade de Engenharia

1 - Mecânica dos Solos I.COPPE/UFRJ II Título
(Série)

AGRADECIMENTOS

- Ao IPR pela permissão para utilização dos dados da pesquisa sobre Propriedades Geotécnicas da Argila da Baixada Fluminense;
- À TRAFECON pelo importante apoio na elaboração dos originais e gráficos;
- À Diretoria da DPq e à Chefia do seu Laboratório pelo apoio dado aos trabalhos de campo;
- Ao Eng. Leandro de Moura Costa Filho, pela eficiente co-orientação nos serviços de campo e na esquematização geral do trabalho;
- Ao Eng. Ramalho Ortigão pelas sugestões apresentadas e pela extensa bibliografia colocada à nossa disposição;
- Ao Eng. Hamilton França, pelo auxílio prestado durante os ensaios no campo;
- Ao Prof. Tácio Mauro P. de Campos, pelos ensaios de caracterização realizados no Laboratório da PUC;
- Ao Eng. Sergio A.B. da Fontoura pelas sugestões apresentadas no início da pesquisa;
- À equipe de sondagens da DPq, nas pessoas de Roberto Augusto, José Delmindo e Manuel Martins, pelo interesse demonstrado na solução dos problemas com o equipamento durante os ensaios;
- Ao Estagiário Carlos Alberto Lundberg pelo auxílio na parte de computação;
- À D. Elizabeth e D. Neyde da seção de datilografia da TRAFECON, pelo cuidadoso trabalho de confecção dos originais;
- Aos desenhistas Sergio Trotta e Roberto Faria, pela execução dos desenhos e gráficos;

- À Banca Examinadora, pela apreciação do presente trabalho, bem como pelas sugestões oferecidas;
- Às funcionárias do Programa de Engenharia Civil e da Seção de Registro da COPPE sempre solícitas no atendimento durante o curso;
- À COPPE, cujo corpo Docente, por sua dedicação e eficiência, possibilitou-nos o embasamento teórico necessário à elaboração deste trabalho.

ESTA TESE DE MESTRADO É DEDICADA ÀS
MEMÓRIAS DE MEU IRMÃO E DE MINHA MÃE

À MEMÓRIA DO PROF. FELIPPE DOS SANTOS REIS, DEDICAMO
S A DEFESA DA MESMA PERANTE A BANCA EXAMINADORA

R E S U M O

Este trabalho descreve uma experiência, para determinação da resistência não drenada (S_u), através do emprego de Ensaaios de Palheta de campo, em três depósitos de argila mole na Baixada Fluminense, Estado do Rio de Janeiro.

Do texto elaborado constam capítulos referentes aos problemas apresentados pelo equipamento empregado, à determinação da variação de S_u com a profundidade, ao estudo em caráter preliminar das características de anisotropia das argilas através dos métodos de Aas (1965) e de Wiesel (1973), e à determinação da resistência do material argiloso considerado "amolgado".

Contém, ainda, capítulos que tratam da revisão da bibliografia existente sobre Ensaaios de Palheta e da utilização de resultados destes ensaios em projetos de aterros sobre camada argilosa.

Conclusões e Sugestões são apresentadas visando maior eficiência na determinação de parâmetros através de ensaios deste tipo e sua aplicação em diversos projetos.

A B S T R A C T

This thesis describes an experiment using a "Field Vane Test Apparatus", to determine the in situ shear strength of three deposits of a very soft plastic clay in Rio de Janeiro, Brazil.

The author comments the performance of the equipment used and suggests some modifications.

A bibliographic review on this subject is presented, and the variation with depth of the undrained shear strength of the three deposits of soft clay is another topic investigated. Computation was made provided the clays were isotropic materials as far as undrained strength is concerned.

After determining the strength in the way described above the strength anisotropy characteristics have been tentatively evaluated by Aas' (1965) and Wiesel's (1973) methods.

The conclusions and suggestions are presented in order to show limitations, advantages and practical implications of this in situ test.

ÍNDICE

1 - Introdução	1
2 - Objetivos	5
3 - Revisão Bibliográfica	7
3.1 - Pequeno Histórico	8
3.2 - Equipamento	9
3.3 - Métodos de Ensaio	20
3.4 - Cálculo da Resistência	29
4 - Caracterização dos Depósitos Argilosos	58
5 - Ensaios Realizados	67
5.1 - Preliminares	68
5.2 - Componentes do Equipamento Empregado	73
5.3 - Rotina de Ensaio	77
5.4 - Análise dos Ensaios Realizados	81
5.5 - Determinação da Parcela de Atrito	102
5.6 - Calibração do Aparelho	111
6 - Resultados Obtidos	117
7 - Estudo de Anisotropia	153

8 - Discussão sobre Ensaio de Palheta	187
8.1 - Aplicabilidade de Resultados de "Vane Test" em Análise de Estabilidade de Aterros sobre Depósitos Argilosos	188
8.2 - Aceitação do método como definidor de S_u , para Argila Amolgada	193
8.3 - Equipamentos Utilizados e Rotinas de Execução	193
8.4 - Algumas Considerações sobre os Resultados de Ensaio	197
8.5 - Considerações sobre os Valores de Anisotropia da Resistência não Drenada	211
8.6 - Comparação com Resultados de Ensaio UU e de Compressão Simples	215
8.7 - Análise Comparativa dos Ângulos Correspondentes aos Momentos Máximos dos Ensaio	217
9 - Conclusões	219
10 - Sugestões para Futuras Pesquisas	226
Bibliografia	232

1 - INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios a que estão submetidos os engenheiros, em todas as partes do mundo, refere-se à problemática de projeto de aterros sobre solos de baixa capacidade de suporte, as argilas moles.

Dentre as características geotécnicas destas argilas, que devem ser levadas em consideração, destaca-se a sua resistência ao cisalhamento.

Usualmente nestes estudos é empregada a chamada resistência não drenada (S_u), devido à condição crítica da análise de estabilidade de aterros referir-se ao Final de Construção, quando não há, ainda, a dissipação do excesso de pressão neutra na argila mole saturada, ocasionada pela sobrecarga do aterro. A esta condição, denominada " $\phi = 0$ ", corresponde uma expressão de resistência ao cisalhamento, $\sigma = S_u$ (Skempton, 1948, Bishop e Bjerrum, 1960).

O valor de S_u pode ser obtido, mais comumente, através dos seguintes métodos:

- Ensaio de Compressão Triaxial do tipo UU;
- Ensaio de Compressão Simples;
- Correlações diversas, a partir de ensaios de penetração dinâmica (SPT), estática e de ensaios pressiométricos;
- Ensaio de palheta ("Vane Test") que podem ser realizados no campo ou em laboratório.

Comparações efetuadas entre valores de S_u de um mesmo depósito, obtidos pelos métodos acima, indicam alguma discordância, o que levaria a valores de coeficiente de segurança diferentes, quando empregados em análise de estabilidade.

No caso de ensaios de laboratório, a principal crítica quanto à sua não validade, refere-se a problemas de perturbação das amostras nas várias etapas de manuseio e de alteração das condições de pressão a que a mesma estiver submetida, pela sua extração.

No caso específico do Ensaio de Palheta - assunto do presente trabalho - observa-se que há tendência de obtenção de valores de S_u nada conservativos, ao contrário dos ensaios de laboratório. Baseado nesta constatação Bjerrum (1973) propôs um fator de correção a ser aplicado ao valor de S_u , determinado em ensaios "Vane".

Assim, independentemente de contestações quanto à sua validade, seja pela não coincidência entre previsão e comportamento quando da suposição da condição " $\theta = 0$ ", seja por problemas intrínsecos ao próprio método (amolgamento, velocidade de ensaio, atritos diversos no aparelho, ocorrência de drenagem, etc...) ou ainda quanto a não consideração de anisotropia de resistência ao cisalhamento ou da possibilidade de ocorrência de ruptura progressiva, o Ensaio de Palheta vem, sendo largamente empregado, principalmente nos países escandinavos e assunto de vários trabalhos em conceituadas publicações técnicas e congressos internacionais.

A principal razão deste interesse deve-se ao fato de constituir-se em um método bastante simples, prático e econômico de determinação do valor da resistência ao cisalhamento não drenado de uma argila mole.

O presente estudo constitui parte integrante do programa de pesquisas empreendido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, na área de Mecânica dos Solos, visando determinar as "Características Geotécnicas de Argilas Moles da Baixada Fluminense".

Diversos ensaios de laboratório e de campo foram efetuados com a finalidade de obtenção destas características. (IPR, 1975, IPR, 1976).

A resistência não drenada (S_u) foi também determinada através de ensaios de laboratório, de maneira a se poder comparar com os resultados dos Ensaios de Palheta.

2 - OBJETIVOS

Os Ensaaios de Palheta objetivaram obter:

- a) a resistência não-drenada do material argiloso indeformado e considerado isotrópico (S_u), possibilitando sua comparação com os valores de S_u obtidos em laboratório;
- b) resistência não-drenada da argila mole no estado definido pela literatura técnica como "amolgada". Embora mantendo esta denominação no presente trabalho, parece mais adequado defini-la como "resistência correspondente a grandes deformações";
- c) valores para configuração do grau de anisotropia na resistência não-drenada. Foram empregados os processos indicados por G. Aas (1963) e C.E. Wiesel (1973);
- d) informações importantes sobre o equipamento utilizado, a técnica de execução dos ensaios, confiabilidade dos resultados, etc.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ENSAIOS DE PALHETA

3.1 - PEQUENO HISTÓRICO

As mais longínquas referências a experiências para determinação da resistência não drenada "in situ", datam do final da década dos anos 20, experiências estas efetuadas na Suécia e Alemanha.

Assim, em 1928, foi relatado um trabalho realizado por J.Olsson, com o aparelho "Vane", na Suécia (Nordendahl Einar - Breskrivning Över nya Lidingöbron-Stockholm), sendo este aparelho, apresentado ao "3rd International Congress for Applied Mechanics" em Estocolmo-1930. Este "Vane" foi projetado por C. Forssell.

Concomitantemente, na Alemanha, eram realizadas experiências semelhantes, como demonstra a patente alemã nº 508.711 de 1929.

Em 1945, A.H.V.Smith publica "Some preliminary trials with the Army Operational Research Group Vane Apparatus", relatando trabalhos do Exército Britânico sobre o assunto.

Estudos mais conclusivos, visando a utilização em larga escala dos ensaios de palheta, começaram no Royal Swedish Geotechnical Institute em 1947, datando, no entanto, de 1948 e 1949 os trabalhos apresentando os resultados desses estudos (Lyman Carlson e Lyman Cadling).

A partir daí, coube aos países escandinavos a tarefa

de liderar os estudos no tocante à determinação de resistência não-drenada "in situ" com a utilização do "Vane Test", posição mantida até aos dias atuais.

Devem ser ressaltados também os trabalhos precussores de SKEMPTON (1948), VEY e SCHLESINGER (1949) e de CADLING e ODENSTAD (1950), na Inglaterra, Estados Unidos e Suécia, respectivamente.

Pela riqueza de informações contidas no seu bojo, o trabalho de CADLING e ODENSTAD é por todos considerado o marco inicial, para estudo sistematizado, do emprego deste aparelho na determinação da resistência não-drenada de argilas.

3.2 - EQUIPAMENTO

Os diversos componentes de um equipamento para "Vane Test" estão distribuídos de tal maneira que permitem dividi-lo em duas partes, a saber:

- a) parte inferior - na qual destaca-se como componente principal a palheta. Apresenta, ainda, um conjunto de hastes de extensão (serve para vencer as diversas profundidades de ensaio), uma haste fina de ligação deste conjunto de hastes à palheta, bem como outros elementos que podem estar ou não inseridos nesta parte, dependendo do tipo de aparelho projetado;
- b) parte superior - na qual se localizam os instrumentos de aplicação e medida dos torques.

Procurar-se-á apresentar, abaixo, uma descrição destas duas partes nos diversos tipos de aparelhos até agora projetados, assim como a abordagem crítica da bibliografia pesquisada sobre o assunto.

3.2.1 - PARTE INFERIOR DO EQUIPAMENTO

Obviamente as palhetas foram alvo, por parte dos diversos pesquisadores, das maiores atenções, no tocante às possíveis influências de tamanho, forma, número de lâminas, relações entre diversas dimensões, etc., no valor de S_u .

Vey e Schlesinger (1949) utilizando palhetas com duas lâminas (palhetas planas) e com quatro lâminas (palhetas em forma de cruz), obtiveram pouca diferença na resistência não drenada.

Cadling e Odenstad (1950), pesquisando também sobre o número de lâminas da palheta, obtiveram resultados mostrando ser a resistência com a utilização de palhetas planas um pouco menor do que a com palhetas em cruz, resultados não conclusivos, segundo os autores, pelo pequeno número de ensaios realizados.

Esta questão seria realmente de difícil interpretação, a não ser através de um número muito grande de ensaios, pois se por um lado um menor número de lâminas tornaria mais desuniforme a distribuição de pressões sobre a superfície de ruptura, favorecendo a ruptura progressiva e diminuindo o valor de S_u , por outro lado um número maior de lâminas (por exemplo, seis) causaria uma perturbação maior do solo durante a inserção, ocasionando, também, diminuição de resistência.

Em todo caso, mesmo carecendo de estudos mais conclusivos, adotou-se de maneira geral a utilização de palhetas, com quatro lâminas (palhetas em cruz).

No tocante à forma da palheta, a mais utilizada é a aquela apresentada na figura 3.1-a e 3.1-b. Para argilas mais consistentes, uma variante para facilitar e melhor dirigir a penetração é apresentada na figura 3.1-c, com extremidades cônicas.

Na figura 3.1-d são apresentadas palhetas especiais para estudo de anisotropia (palhetas losangulares).

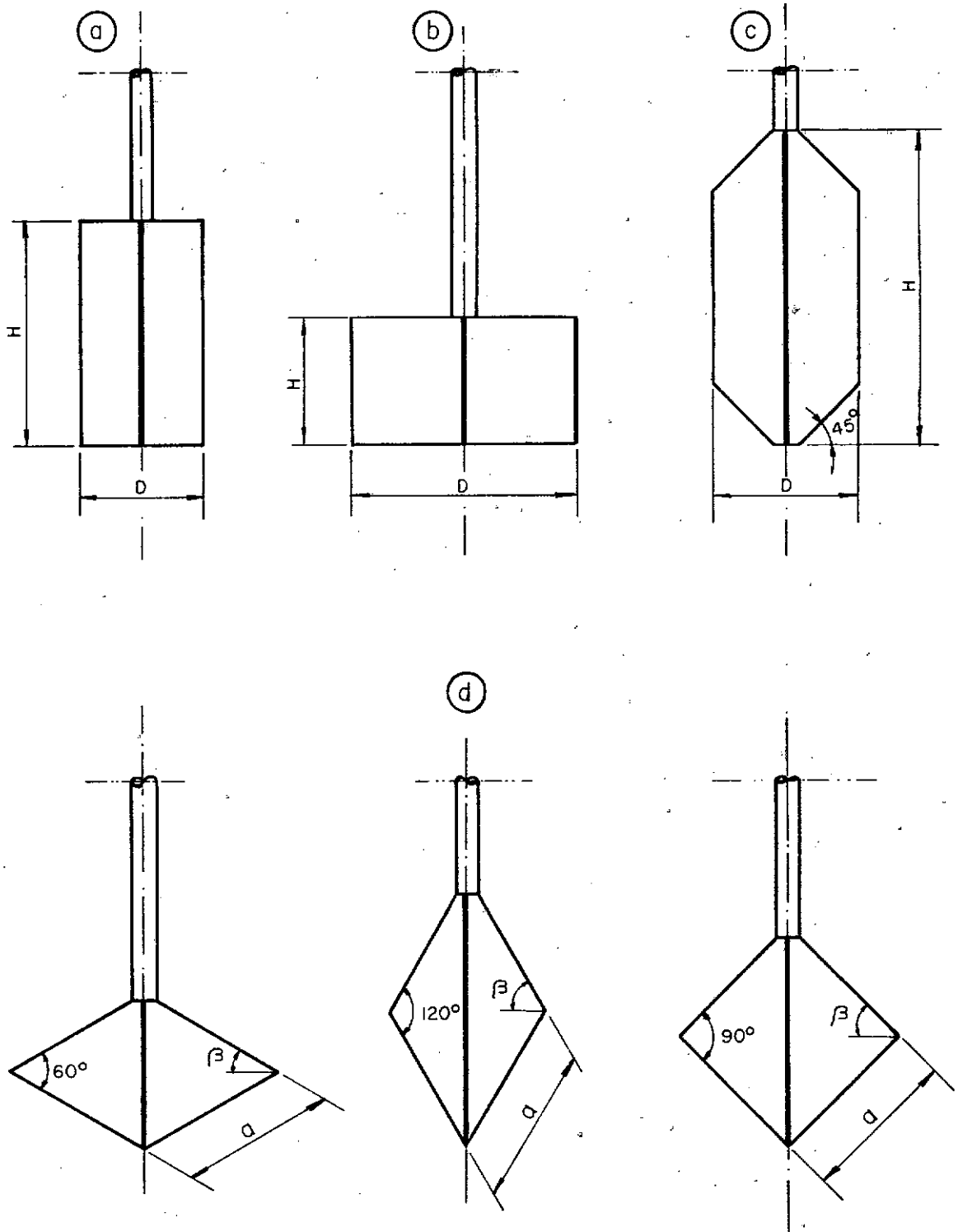
As possíveis influências das dimensões das palhetas foram estudadas por diversos pesquisadores.

Vey e Schlesinger (1949) ensaiando com palhetas de 4 1/2" x 3 1/2" e 3 1/2" x 2 1/2" (a ordem de citação das dimensões da palheta será sempre altura x diâmetro, neste trabalho) não encontraram diferenças significativas no valor de S_u .

Cadling and Odenstad (1950) também não obtiveram valores de S_u muito diferentes para alturas de palheta 300 mm, 200mm, e 100mm e relação $\frac{H}{D}$ de 3,75, 2,50 e 1,25 respectivamente.

Embora reconhecida a não influência das dimensões das palhetas utilizadas nos ensaios, elegeu-se num consenso geral a palheta com relação $\frac{H}{D} = 2$, como padrão.

Flaate (1966), por sua vez, acha as conclusões de Cadling and Odenstad (1950) válidas apenas para argilas moles e sensíveis, podendo existir depósitos onde as dimensões tenham influência. Isto seria devido a um efeito de aderência da argila na palheta em certos tipos de solos, aderência esta,



(β - ÂNGULO INDICADO NA FÓRMULA 3.10)

FIGURA 3.1- TIPOS DE PALHETA

e conseqüente perturbação, maior quanto maior a altura da palheta.

Cita as conclusões chegadas por Vey (1955), através de ensaios "Vane" de laboratório, que constatou a aderência do solo na palheta quando da sua inserção.

Arman, Poplin e Ahmad (1975) concluíram também, serem insignificantes para os valores de S_u em ensaios "Vane" a utilização de palhetas de forma e dimensões diferentes.

A influência devida a outra dimensão da palheta, a espessura, foi estudada por La Rochelle, Roy e Tavenas (1973). Tomando quatro palhetas de 9,5cm x 4,75cm, mas com espessuras de 1,6mm, 1,95mm, 3,1mm e 4,7mm, fizeram vários ensaios, encontrando como resultado que o valor de S_u diminuía com o aumento de espessura, conforme mostrado na figura 3.2.

Complementando esta determinação, os mesmos autores construíram um gráfico $S_u \times \alpha$ (%) sendo $\alpha = \frac{4e}{\pi D}$ (e - espessura da palheta e D - diâmetro da palheta, figuras 3.3 e 3.4, procurando obter o valor de S_{u0} para um $\alpha = 0$ (consequentemente e = 0). Como resultado obtiveram variação aproximadamente retilínea para cada profundidade, com o valor de S_u aumentando com a diminuição de α %. Os valores de S_{u0} , resistências não-drenadas para palhetas de espessura nula, foram no caso menores que os valores obtidos para as mesmas profundidades em ensaios de compressão não confinada.

Os autores sugerem, como explicação, o efeito parcial de aumento de pressão neutra com a cravação da palheta, e a não dissipação da mesma para ensaios realizados logo após a sua inserção. O aumento de espessura influenciaria neste efeito.

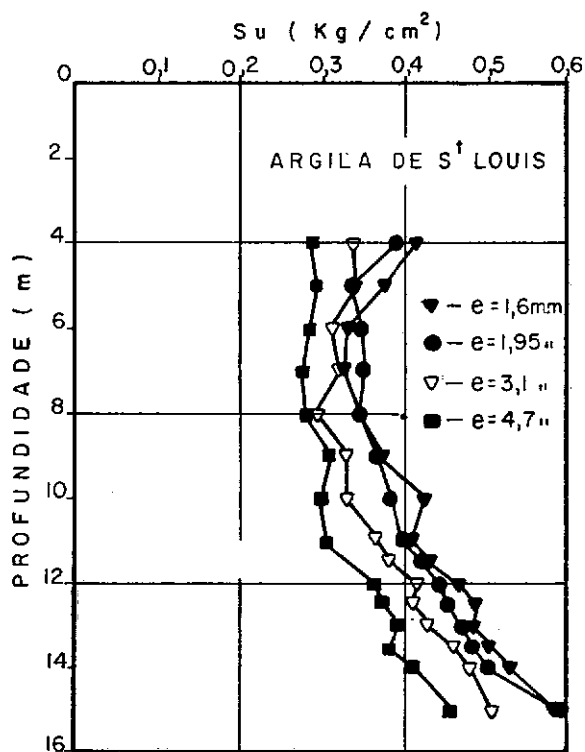


FIGURA 3-2- RESISTÊNCIAS S_u COM DIFERENTES ESPES-
SURAS DE PALHETA (LA RO-
CHELLE, ROY E TAVENAS -
1973).

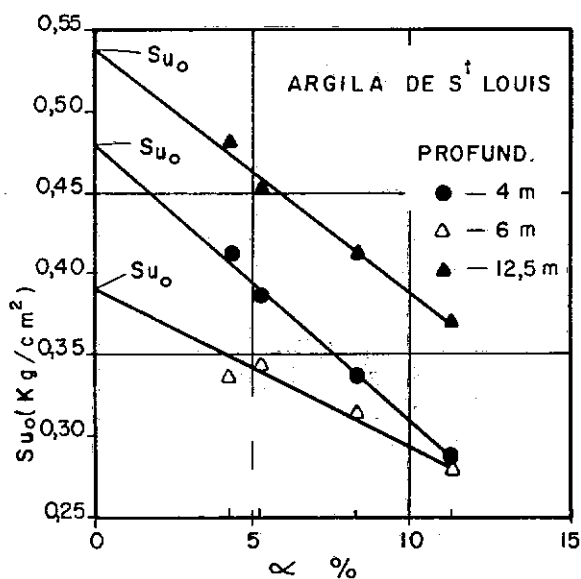


FIGURA 3-3 - RESISTÊNCIA
 S_{u0} , PARA PALHETA DE
ESPESSURA NULA (LA
ROCHELLE, ROY e TAVENAS
-1973.)

$$\alpha = \frac{4e}{\pi D}$$

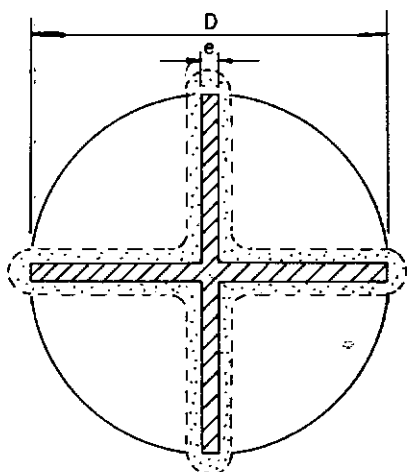


FIGURA 3-4- PERTURBAÇÃO
DA ARGILA "PELO VANE" (CA-
DLING E ODENSTAD - 1950).

O simples aumento do grau de perturbação da massa de argila por amolgamento ao redor da palheta, parece trazer, no entanto, maiores consequências à resistência ao cisalhamento medida.

A influência da espessura poderia ser estudada, também pela relação área de seção transversal cheia (soma das espessuras das lâminas com a área da haste fina, onde estão soldadas as lâminas), área da seção transversal do cilindro de diâmetro D . A determinação da robustez desta peça faz-se importante levando-se em consideração que o aumento de diâmetro da haste fina e de espessura da lâmina será tanto maior quanto a maior consistência do depósito a ser pesquisado, o que influenciará no seu dimensionamento. O valor máximo desta relação não poderá ultrapassar a 10% (Ostenberg 1956). Eden e Hamilton (1956) fazendo ensaios com palhetas de relações 10% e 25% não encontraram diferenças significativas na resistência. Flaate (1966) sugere que, até pesquisas mais conclusivas, esta relação não deva ultrapassar em nenhuma hipótese a 15%.

A haste fina, na qual estão soldadas as lâminas que constituem a palheta, deve ter, obviamente, o menor diâmetro possível, compatível com o torque máximo a que estará submetida e um comprimento que corresponda à profundidade de cravação na argila.

As hastes de extensão são utilizadas para vencer as profundidades nas quais são realizados os diversos ensaios.

Os tubos de revestimento são utilizados para proceder a contenção lateral dos furos executados a trado tipo concha,

no interior dos quais se executam os ensaios. O estudo da influência destes três últimos elementos, talvez porque intuitivamente seja julgada de pouca importância, não mereceu por parte dos pesquisadores consultados, maiores referências. Cadling e Odenstad (1950) estudando a influência da distância do topo do Vane à parte inferior do tubo de revestimento (comprimento da haste fina), isto é, o distanciamento da palheta da região amolgada por este último, obtiveram valores de S_u crescentes com esta distância. Andresen e Bjerrum (1956) indicam que ensaios realizados com comprimentos de haste fina de 50cm e 35cm deram como resultados valores médios de resistência não drenados 9% (nove por cento) maiores para os ensaios com hastes de comprimento maior.

Vey e Schlesinger (1949) concluíram não haver grande diferença nos resultados pela utilização de tubos de revestimento de 6" ou 4" de diâmetro.

São, também, componentes de equipamentos:

a) bainha de proteção de palheta -

Dispositivo existente em alguns aparelhos e que permite a retração da palheta para o seu interior, protegendo-a durante a cravação.

A bainha, por sua vez, está ligada a um tubo de revestimento de extensão, que tem a finalidade de evitar o atrito entre o solo e as hastes de extensão, que trabalham no interior do referido tubo.

Estes importantes componentes foram desenvolvidos pelo SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE (SGI);

b) discos espaçadores -

Em geral confeccionados com rolamentos comuns, têm a finalidade de impôr um distanciamento constante do conjunto de hastes de extensão relativamente ao tubo de revestimento;

c) dispositivo para medição do atrito -

Haste fina sem a palheta na extremidade ou dispositivo que permita iniciar-se o ensaio sem impôr rotação à palheta.

3.2.2 - PARTE SUPERIOR DO EQUIPAMENTO

Nesta parte, constituem-se como elementos principais os dispositivos de aplicação de rotação nas hastes e o dispositivo de leitura dos torques.

A aplicação de rotação no conjunto de hastes e consequentemente na palheta pode ser feita diretamente através de uma alavanca (torquímetro) ou através de manivela e engrenagens, de transmissão.

Cadling e Odenstad (1950) descrevem detalhadamente dois tipos de aparelhos para aplicação direta do torque, desenvolvidos pelo S.G.I.

Estes tipos parecem apresentar maiores oportunidades de medições erradas de S_u , pela operação do mesmo por diferentes pessoas (rotação a diferentes velocidades), embora sejam bem portáteis e de mais fácil manutenção, segundo é indicado por Kallstenius (1956).

São assim desaconselhados para serem usados em trabalhos rotineiros.

O Standard Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil-Designation D2573-72-ASTM, preconiza a utilização de engrenagens para aplicação do torque.

O sistema de transmissão por manivela está sendo utilizado largamente nos dias atuais, em todos os aparelhos projetados, tanto nos EE.UU. como na Escandinavia e demais partes do mundo (Bureau of Reclamation, Norwegian Geotechnical Institute - NGI etc.).

O Swedish Geotechnical Institute adaptou um motor elétrico para proceder a rotação em um aparelho "Vane", projetado para funcionar manualmente (Wiesel 1973).

Assim, estão sendo utilizados em vários países aparelhos para Ensaio de Palheta, projetados de diferentes maneiras e utilizando os mais diversos tipos de componentes.

De acordo com a concepção de cada projetista, alguns aparelhos apresentam-se vantajosos pela portabilidade, outros através de respostas mais exatas e apuradas em termos de torques medidos, outros ainda pela utilização de peças visando a economia de tempo, mão-de-obra, etc.

A seguir é apresentada a tabela 3.1, com indicação de dimensões de vários componentes de equipamentos para Ensaio de Palheta, conforme registro em diversos trabalhos publicados.

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DE EQUIPAMENTOS PARA "VANE TEST" UTILIZADOS EM DIVERSAS PESQUISAS

DEPÓSITO	Ref. Bibl.	Dimensões das Palhetas (cm)			Haste Fina		Haste de Extensão		Revestimento	Método de Cravação da Palheta
		H	D	C	Comprim. (cm)	Diâmetro (cm)	Comprim. (cm)	Diâmetro (cm)	Diâmetro (cm)	
Chicago Glacial Clays - EUA - 1949	64	11,4 8,9 11,4	8,9 6,4 8,9 (1)	-	82,5	1,37	165,0	3,8	15,2 a 10,2	Furo Prévio por Lavagem
Bromma Airfiel Lidan, River Suécia - 1950	14	30 20 13,4	8 8 8 6,4	-	4,0 10,0 19,0 25,0	-	100,0	-	6,0	SGI
Milwaukee Wis. - EUA - 1956	51	$\frac{H}{D} = 2$	-	-	45,0	-	100,0	-	-	Furo Prévio por Tradagem
Lovewell Dam EUA - 1956	25	10,2 15,2 20,3	5,1 7,6 10,2	-	-	-	150,0	4,1	6,0	Furo Prévio por Tradagem
Golfo do México Costa da Louisiana EUA - 1955	21	15,2	7,6	0,32	33,0	1,6	300,0	4,1	10,2	SGI
Western Oregon EUA - 1953	30	10,2 15,2 20,3	5,1 7,6 10,2	-	15,2	1,3 a 4,1	150,0	3,8	-	Furo Prévio por Tradagem
Leda Clay Canada - 1955	20	14,2	7,1	0,32 e 0,20	60,0	2,5 a 1,7	-	4,1	7,6	Furo Prévio por Tradagem
Oslo - Noruega - 1955	6	11,0	5,0	-	35,0 50,0	2,0	100,0	4,2	-	SGI
Lake Pend O'Reille Idaho - EUA - 1953	9	10,2 15,2 20,3	5,1 7,6 10,2	-	76,2	2,5	-	3,8	7,6	Furo Prévio por Tradagem
Aserun Drammen Lierstranda Manglerud Noruega - 1965	1	6,5 9,7 13,0 13,0 13,0 19,5 26,0	13,0 13,0 9,7 6,5 6,5 6,5	-	-	-	-	-	-	SGI
Aserun Drammen Liersanampa Manglerud Tonsberg Kjelsas Noruega - 1967	2	26,0 19,5 30,0 13,0 18,0 13,0 13,0 9,7 6,5 8,0 14,0 (2)	6,5 6,5 10,0 6,5 9,0 9,7 13,0 13,0 13,0 16,0 -	-	-	-	-	-	-	SGI
Norte da Grécia Costa do Mar do Norte da Alemanha - 1967	43	11,0	5,5	-	50,0	-	-	-	-	SGI
Champlain Clay Canada - 1973 (5)	37	9,5	4,7	0,16 0,31 0,47	-	-	-	-	-	
Ska Ebeby Estocolmo - Suécia 1973	65	13,0 6,5 3,2 1,6 (3)	6,5 6,5 6,5 6,5	-	-	-	-	-	-	SGI
Bangpli Clay Tailândia - 1975	56	13,0 6,5 10,0 (4) 10,0 (4) 10,0 (4)	6,5 13,0	-	50,0	-	-	-	-	SGI
Morgan City Caplace-Organic Louisiana-EUA-1975	7	19,3 14,5 12,6 4,1	7,9 6,5 5,0 6,2	-	-	-	-	-	-	Haste Cravada Diretamente na Argila
Parrish Lane -Salt Lake City-Utah-EUA	8	16,5	6,3	0,13	30,5	1,9	150,0	4,1	7,6	Furo Prévio por Lavagem

(1) - Palheta com duas lâminas

(2) - Palheta Especial para Determinar Anisotropia com 45º

(3) - Palheta com 8 lâminas

(4) - Palhetas Especiais para Determinar Anisotropia com 60º, 90º, e 120º.

(5) - Referido na bibliografia 20 como "Leda Clay".

3.3 - MÉTODOS DE ENSAIO

De um modo geral a rotina para execução de um ensaio de palheta pode ser dividida em três partes distintas:

- Inserção do Vane
- Realização do ensaio com argila na condição indeformada, e
- Realização do ensaio para a condição de argila denominada "amolgada".

3.3.1 - INSERÇÃO DO VANE

Esta primeira fase da rotina pode ser, por sua vez, executada de três maneiras diferentes:

- a) através da escavação prévia de um furo, empregando-se mais comumente equipamento para tradagem, lavagem ou sondagem rotativa, dependendo da consistência do depósito. Na maioria destes trabalhos, o furo assim obtido, é revestido. Depois de executado o furo, até uma profundidade variável de 35cm a 75 cm acima do ponto onde será realizado o ensaio, o conjunto haste de extensão e haste fina com a palheta na ponta, é introduzido no seu interior e empurrado para baixo, de modo a cravar a palheta a uma distância de 35cm a 75cm do fundo do furo.
- b) pela cravação, sem prévia escavação, de um conjunto de tubos de revestimento de extensão, tendo na sua extremidade inferior a bainha de proteção da

palheta e no seu interior o conjunto de haste de extensão com a haste fina e a palheta.

Esta bainha tem a finalidade de proteger a palheta durante a cravação. Para a realização do ensaio, a palheta é empurrada para baixo no sentido de deslocar-se para fora da bainha e cravada cerca de 35cm a 50cm no solo.

- c) no terceiro método, o conjunto haste de extensão, haste fina e palheta são cravados diretamente no solo que os envolve.

Neste caso, como é fácil de se imaginar, ocorrerá um atrito considerável entre o conjunto e o material argiloso.

Problema comum aos dois primeiros métodos acima descritos, a pesquisa de distanciamento da palheta do fundo do furo ou da bainha, foi primeiramente estudado por Cadling e Odenstad (1950). Conforme citado no item 3.2, estes pesquisadores mantendo o mesmo diâmetro de palheta, variaram o comprimento de haste fina de tal maneira a obterem distanciamentos de 0,67d, 1,67d, 3,17d e 4,17d (d - diâmetro do tubo de revestimento = 6,0cm) entre a parte inferior da bainha e a palheta. Como resultado encontraram maiores valores de Su para as maiores distâncias. Ao construírem um gráfico Su x comprimento da haste fina, observaram uma tendência a constância do valor de Su a partir do valor 5d. Indicaram, portanto, este distanciamento como mínimo, no sentido de se evitar a localização do "Vane" na zona perturbada pela cravação do tubo de revestimento ou da bainha.

Flaate (1966) comentando a ocorrência desta perturbação, questiona a suposição de que não há necessidade desta distância ultrapassar 60cm, principalmente para tubos de revestimento de maiores diâmetros e sondagens executadas descuidadamente.

A norma ASTM-72 adota também o critério de $5d$ para distanciamento mínimo (d - diâmetro do revestimento ou diâmetro do próprio furo quando não revestido).

Fenske (1956) relata trabalhos de "Vane Test" na plataforma marítima do Golfo do México, utilizando furação e lançamento de palheta, e conjunto de hastes através de bombeamento e circulação de água.

Outro exemplo interessante é o de cravação de palheta através de macaco hidráulico (Hill-1956).

Este item da rotina de um ensaio e as partes componentes de um equipamento, conforme descrição efetuada em 3.2, permitem classificar os equipamentos utilizados em três tipos distintos:

a) tipo "Acker Vane" -

É empregada furação prévia, sendo a palheta cravada a partir do fundo do furo. Utilizados, em geral, tubo de revestimento, espaçadores e hastes de extensão;

b) tipo SGI - GEONOR -

Com cravação do conjunto tubo de revestimento de extensão, tendo na ponta a bainha e no seu interior conjunto de haste de extensão e palheta. Não há necessidade de furação prévia, nem atrito solo - haste

de extensão. Este sistema é mais sofisticado e de uso generalizado, atualmente, pelas mais diversas instituições de pesquisas e firmas especializadas;

c) tipo Nilcon ou Geotech -

Conjunto de hastes de extensão cravada diretamente no solo, com o qual produz atrito considerável. Sua versatilidade reside na possibilidade de utilização conjunta com ensaios penetrométricos.

Não há evidências no entanto, de melhores resultados obtidos com determinado tipo de equipamento.

(Schmertmann 1975).

A figura 3.5 esquematiza estes três tipos de equipamentos empregados em Ensaios "Vane".

Na última coluna da tabela 3.1, são indicados os tipos de equipamentos empregados nas diversas pesquisas apresentadas.

3.3.2 - ENSAIO COM ARGILA INDEFORMADA

Após a cravação da palheta e a instalação da parte superior do conjunto (mesa provida de um sistema de aplicação de rotação nas hastes e leitura de torques), procede-se ao ensaio propriamente dito, pela rotação do conjunto de hastes e palheta cravada no solo, de maneira a rompê-lo, segundo uma superfície lateral cilíndrica vertical de diâmetro teoricamente igual ao da palheta e duas superfícies (horizontais) nas extremidades da palheta.

De pronto, impôs-se um estudo sobre a velocidade de rotação do conjunto.

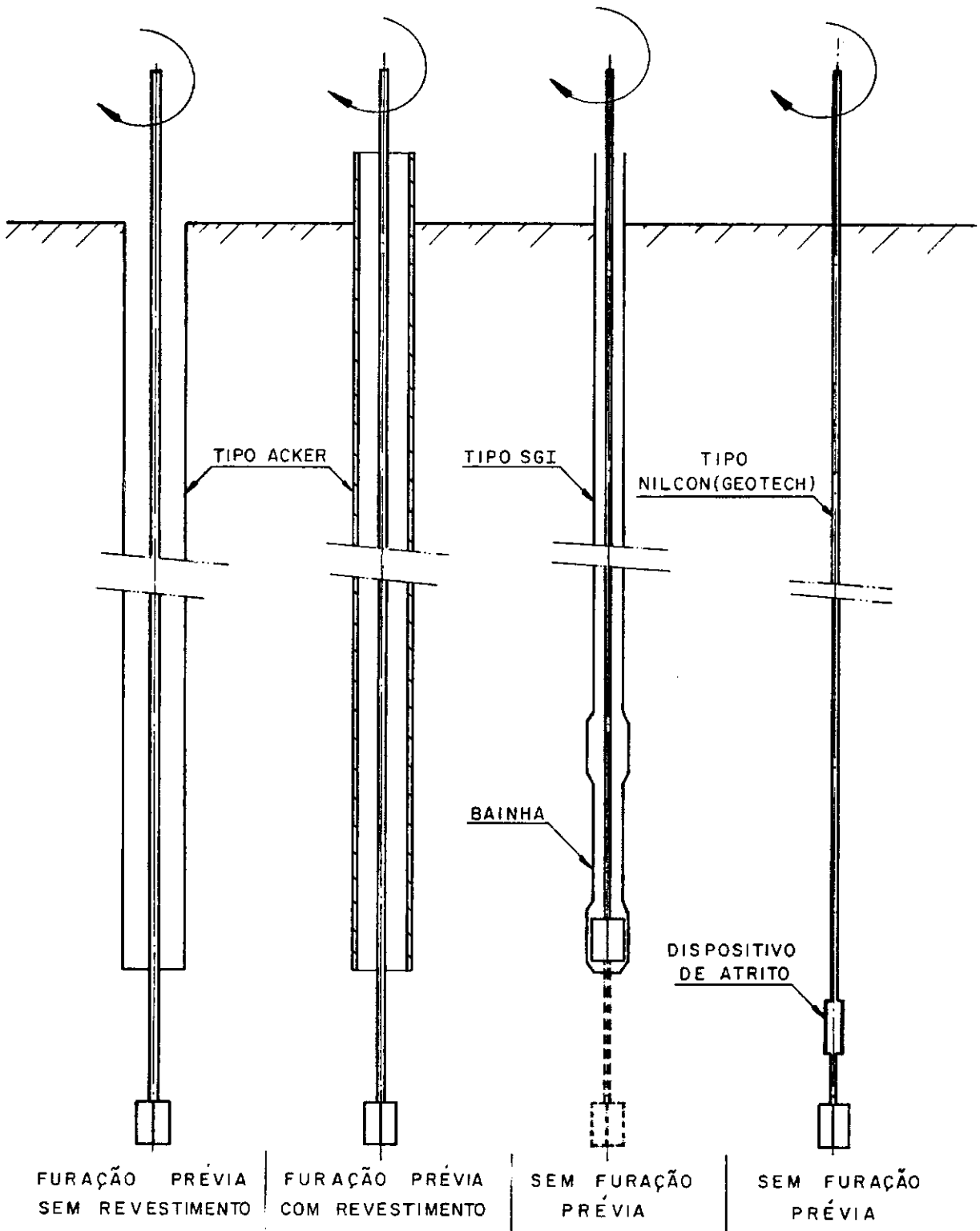


FIGURA 3.5- MÉTODOS DE CRAVAÇÃO DA PALHETA DE ACORDO COM OS VÁRIOS TIPOS DE EQUIPAMENTOS.

Embora já houvessem referências anteriores sobre a velocidade a ser adotada (Skempton - 1948), coube a Cadling e Odenstad (1950) estudá-la e tentar concluir alguma coisa a respeito.

Após realizarem ensaios variando a velocidade de rotação do conjunto entre $6^{\circ}/\text{min.}$ e $60^{\circ}/\text{min.}$, verificaram que a resistência não drenada diminui com a velocidade de rotação. Atendendo então ao ponto de vista de favorecer a segurança e de limitação de velocidade no caso prático de torque aplicado manualmente através de manivela, estes autores sugeriram a velocidade de $6^{\circ}/\text{min.}$

Assim, em todos os serviços é adotada a indicação acima com algumas poucas exceções de velocidade $0,2^{\circ}/\text{seg.}$ (Fenske - 1956) e $1^{\circ}/\text{min.}$ (Vey e Schlesinger - 1949).

A norma de ASTM-1972 indica, também, a velocidade de $6^{\circ}/\text{min.}$

Wiesel (1973) efetuou também interessante pesquisa empregando as seguintes velocidades de rotação numa palheta de 130mm x 65mm: $0,06^{\circ}/\text{min.}$, $0,6^{\circ}/\text{min.}$, $6^{\circ}/\text{min.}$ e $60^{\circ}/\text{min.}$

Como resultado, confirmando os anteriores, encontrou menores valores de S_u para menores velocidades.

Prosseguindo na pesquisa para cada profundidade "plotou" em escala dupla-logarítmica $S_u \times w$, sendo w a velocidade de rotação em graus por minuto. Estes pontos localizaram-se aproximadamente em uma reta.

Em recente trabalho Perlow e Richards (1977), tendo em vista Ensaios de Palheta a serem efetuados em plataforma marítima

ma (San Diego e Maine), sabidamente de custos elevados, estudaram a influência de velocidade de rotação do "Vane", partindo da expressão:

$$v = r w$$

fórmula 3.1

v - velocidade de cisalhamento (comp/tempo)

w - velocidade de rotação do "Vane" (ângulo/tempo)

r - raio do cilindro de ruptura no ensaio "Vane"

A sistemática universalmente aceita de imprimir-se uma velocidade de rotação à palheta, de 6°/min., independentemente do diâmetro da mesma, leva a cisalhar-se o solo com diferentes velocidades conforme mostra a expressão acima.

Após constatarem para os dois locais o aumento da resistência S_u , tanto com o diâmetro da palheta como, com a velocidade angular do cisalhamento, por comparação de ensaios "in situ" e de laboratório, os autores sugerem a adoção da velocidade de cisalhamento padrão de 0,15mm/seg. As velocidades de rotação das palhetas seriam obtidas da relação acima, e função dos diâmetros das palhetas empregadas.

Através deste critério, para os diâmetros mais comumente empregados (vide tabela 3.1), a velocidade de rotação deveria estar compreendida entre 8°/min e 22°/min., valendo o mesmo, tanto para "Vane Test" de campo, como para "Vane Test" de laboratório.

Argumentam, também, os autores que mesmo não eliminando todas as incertezas associadas às dimensões de palheta e a sua velocidade de rotação, o critério proposto faria coincidir as velocidades de cisalhamento, até então variáveis, em

cerca de 250% para as palhetas da ASTM.

No mesmo trabalho, Perlow e Richards criticam os resultados obtidos por Cadling e Odenstad (1950), citando que os mesmos foram obtidos em "amostras amolgadas, preparadas em laboratório", quando se sabe que experiências indicaram que a influência da velocidade angular do cisalhamento diminui com o aumento do grau de perturbação das amostras. Quanto ao trabalho de Arman e Poplin (1975), argumentam que a diferença de diâmetros das palhetas utilizadas, teria propiciado uma variação de resistência devida a diferentes velocidades de cisalhamento, inferior à variação casual estatisticamente esperada de um ensaio de palheta.

A afirmação quanto à sistemática adotada por Cadling e Odenstad, não foi encontrada durante a leitura daquele trabalho pioneiro sobre o assunto.

3.3.3 - ENSAIO COM ARGILA "AMOLGADA"

Embora pairando dúvidas sobre sua validade (vide comentários no item 3.4), rotineiramente em todos os serviços de campo utilizando "Vane Test", após o ensaio descrito anteriormente, procede-se ao ensaio com o material amolgado. Para tanto, tenta-se "quebrar" a estrutura de argila através da rotação do conjunto com velocidade maior. A finalidade desta determinação seria a obtenção da sensibilidade ou sensibilidade definida como a relação entre a resistência indeformada e a resistência após a destruição completa da estrutura da argila. O número de rotações varia entre duas e quatro.

Logo após (embora careça ainda de um estudo minucioso, a influência do tempo de espera após as rotações parece ser importante), realiza-se o ensaio da mesma maneira que o executado com material indeformado, isto é, procurando-se obter um valor de "pico" para o torque.

3.3.4 - OBSERVAÇÕES

1 - Antes de se começar a trabalhar com um determinado aparelho de ensaio de palheta, há necessidade de se proceder a sua calibração, bem como proceder a recalibrações, periodicamente.

A calibração consiste basicamente em se aplicar ao aparelho torques sucessivos, de valores crescentes, e verificar a marcação no relógio comparador. Um gráfico torque aplicado x leitura do relógio comparador pode ser feito e então determinada a constante do aparelho (no caso, constante da mola), como sendo o coeficiente angular de reta ou reta aproximada obtida em $(\text{kg.cm}/10^{-4} \text{ polegadas, por exemplo})$.

Como pode ser visto posteriormente este valor da constante será utilizado em todos os cálculos.

2 - Quando se faz a leitura dos diversos ângulos de rotação aplicados ao conjunto, nesta leitura estão incluídos os ângulos devidos a torção nas hastes. Faz-se necessário, também, fazer uma correção nos ângulos determinando-se a parcela devida à torção. Esta determinação é feita, prendendo-se o conjunto pela extremidade e aplicando-lhe uma rotação. Pode ser obtida então, para o conjunto de hastes empregado, uma expressão indicando a

variação do ângulo de rotação das hastes com o torque aplicado.

3 - Em todas as leituras de torque, existe uma parcela devido ao atrito do solo com as hastes, bem como atrito no próprio conjunto haste-revestimento. Este valor logicamente deve ser deduzido para obtenção do torque, apenas devido à resistência do material argiloso. Para tanto, podemos executar o ensaio com um dispositivo que permita girar o conjunto sem girar a palheta, ou empregar uma haste fina, sem a palheta na ponta, (nesse caso denominada haste cega). Utilizando-se um ou outro elemento, a rotina é idêntica à do ensaio com palheta, isto é, aplica-se uma rotação no conjunto e lê-se os torques obtidos, proporcionais às resistências por atrito.

Principalmente nos ensaios executados utilizando-se tubos de revestimento e conjunto de hastes (com haste cega), a determinação desta parcela parece apresentar problemas, quanto ao intervalo de variação dos resultados que se apresenta muito grande (Vey e Schlensinger - 1949, Bennet e Mecham - 1953).

3.4 - CÁLCULO DA RESISTÊNCIA

3.4.1 - HIPÓTESES BÁSICAS

A resistência obtida "in situ", através do "Vane Test" é uma resistência não drenada, portanto comparável às obtidas em laboratório em Ensaio UU ou Ensaio de Compressão Simples. A hipótese fundamental baseia-se assim na não ocorrência de drenagem, logo após a cravação da palheta, bem como durante a realização dos ensaios, com o estado de tensão atuante permanecendo

o mesmo, após a cravação de palheta.

A interpretação e cálculo deste ensaio são também baseados nas seguintes hipóteses:

1 - As operações de abertura de furo por tradagem ou de cravação de conjunto de hastes com bainha de proteção da palheta e de inserção do "Vane" não causam perturbação na argila, que assim é considerada indeformada.

2 - São consideradas como superfícies de ruptura a superfície cilíndrica vertical e as superfícies horizontais (bases do cilindro), formadas pelo "Vane" durante sua rotação.

3 - A resistência S_u é suposta a mesma, tanto na superfície vertical como nas horizontais, isto é, o material é considerado de comportamento isotrópico quanto à resistência ao cisalhamento não drenado.

4 - A resistência ao cisalhamento é considerada inteiramente mobilizada a um mesmo tempo em todas as superfícies. Estas superfícies já estão inteiramente formadas, quando ocorre a resistência de "pico". Não é suposta, assim, a possibilidade de ruptura progressiva.

5 - As tensões de cisalhamento são consideradas uniformemente distribuídas, tanto as que atuam na superfície vertical, como os que atuam nas superfícies horizontais, na ruptura. Isto equivale à suposição de que a resistência ao cisalhamento mobilizada é função do deslocamento angular da palheta em cada ponto das superfícies cisalhadas (ver figura 3.6.a).

3.4.2 - CÁLCULO DE Su

Considera-se uma superfície cilíndrica de ruptura de altura H e diâmetro D (tomadas aqui como iguais à altura e diâmetro do "Vane"), figura 3.7 e mais ainda:

- Sv - Resistência ao cisalhamento no plano vertical;
- Sh - Resistência ao cisalhamento no plano horizontal;
- Mv - Momento devido à parcela de resistência de argila no plano vertical;
- Mh - Momento devido à parcela de resistência de argila no plano horizontal;
- M = Mv + 2 Mh - Momento resistente total.

O momento Mv, devido à resistência no plano vertical no qual atua uma tensão uniformemente distribuída, pode ser expresso por:

$$Mv = \sigma \cdot S \cdot \frac{D}{2}, \text{ sendo:}$$

σ = Sv - Tensão atuante;

S = πDH - Área lateral do cilindro de ruptura;

D - Diâmetro do cilindro.

$$Mv = Sv \pi DH \cdot \frac{D}{2}$$

$$Mv = \frac{\pi}{2} D^2 H Sv$$

Fórmula 3.2

Do mesmo modo no plano horizontal e tendo em vista ainda a figura 3.7, tem-se:

$$d Mh = Sh da \cdot r$$

$$da = r d\theta \cdot dr$$

$$d Mh = Sh r^2 dr d\theta$$

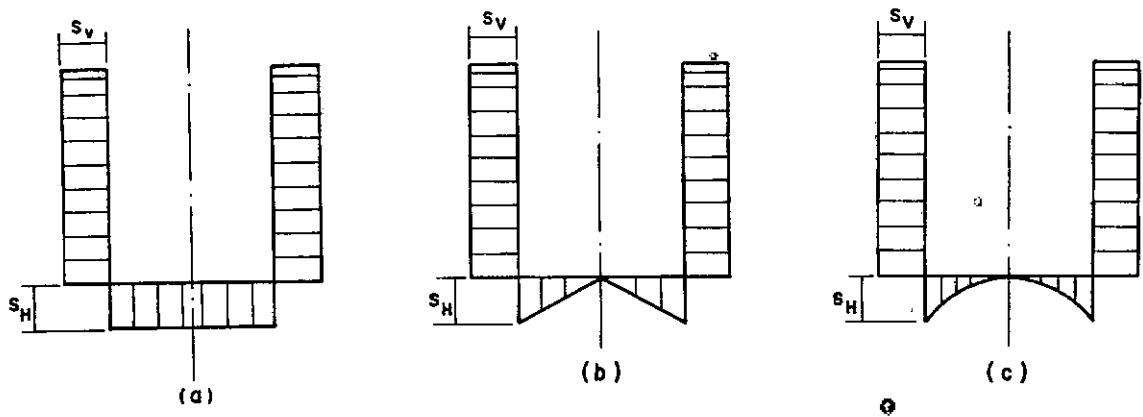


FIGURA 3-6- DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NUMA PALHETA

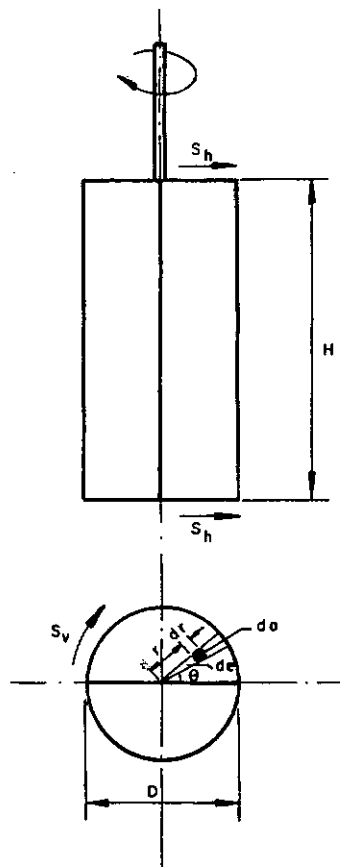


FIGURA 3-7- DESENVOLVIMENTO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA.

$$M_h = \iiint d M_h = \iiint Sh r^2 dr d\theta = Sh \int_0^{\frac{D}{2}} r^2 dr.$$

$$\int_0^{2\pi} d\theta$$

$$\int_0^{2\pi} d\theta = \left[\theta \right]_0^{2\pi} = 2\pi$$

$$\int_0^{\frac{D}{2}} r^2 dr = \left[\frac{r^3}{3} \right]_0^{\frac{D}{2}} = \frac{D^3}{24}$$

$$M_h = 2\pi Sh \frac{D^3}{24}$$

$$M_h = \frac{\pi}{12} D^3 Sh$$

Fórmula 3.3

Como

M = M_v + 2 M_h, vem:

$$M = \frac{\pi}{2} D^2 H S_v + \frac{\pi}{6} D^3 Sh$$

Fórmula 3.4

Considerando-se o material isotrópico, isto é, $Sh = Sv = Su$, o valor de resistência não drenada será:

$$Su = \frac{2M}{\pi D^2 \left(H + \frac{D}{3} \right)}$$

Fórmula 3.5

Para obtenção desta fórmula, conforme indicado anteriormente, adotou-se a hipótese de que as tensões de cisalhamento são uniformemente distribuídas nas superfícies horizontais, na ruptura, figura 3.6a.

Supondo-se agora que a resistência Sh atua nas superfícies horizontais, não uniformemente, mas com valores variáveis de zero no centro, a Sh na periferia - distribuição triangular, figura 3.6.b, tem-se:

$$d M_h = \frac{r}{\frac{D}{2}} Sh. da.r$$

$$d M_h = \frac{2}{D} Sh r^2 da \quad da = r d\theta. dr$$

$$d M_h = \frac{2}{D} Sh r^2 r d\theta dr$$

$$d M_h = \frac{2}{D} Sh r^3 d\theta dr$$

$$M_h = \iiint d M_h = \frac{2 Sh}{D} \int_0^{\frac{D}{2}} r^3 dr \int_0^{2\pi} d\theta$$

$$\int_0^{\frac{D}{2}} r^3 dr = \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^{\frac{D}{2}} = \frac{D^4}{64} \text{ e } \int_0^{2\pi} d\theta = \left[\theta \right]_0^{2\pi} = 2\pi$$

$$M_h = \frac{2}{D} \frac{SH}{D} \cdot 2\pi \frac{D^4}{64}$$

$$M_h = \frac{\pi}{16} Sh D^3$$

fórmula 3.6

$$M = \frac{\pi}{2} D^2 H S_v + \frac{\pi}{8} D^3 Sh$$

fórmula 3.7

Considerando-se também o material ensaiado, isotrópico, o valor de S_u será:

$$S_u = \frac{2M}{\pi D^2 \left(H + \frac{D}{4} \right)}$$

fórmula 3.8

Considerando agora, uma variação parabólica, também com valor zero no centro e Sh na periferia, figura 3.6c e tendo-se para equação da parábola $Y = ar^2$, vem:

Para $r = D/2$ tem-se $Y = Sh$, logo $Sh = a D^2/4$ e

$$a = 4/D^2 Sh.$$

A equação da parábola será então:

$$Y = \frac{4 r^2}{D^2} Sh$$

Diferenciando conforme anteriormente:

$$d Mh = \frac{4r^2}{D^2} Sh da r$$

Sendo $da = r d\theta dr$, fica:

$$d Mh = \frac{4r^2}{D^2} Sh r^2 d\theta dr$$

$$d Mh = \frac{4}{D^2} Sh r^4 d\theta dr$$

$$Mh = \int \int d Mh = \frac{4 Sh}{D^2} \int_0^{D/2} r^4 dr \int_0^{2\pi} d\theta$$

$$\int_0^{D/2} r^4 dr = \left[\frac{r^5}{5} \right]_0^{D/2} = D^5/160$$

$$\int_0^{2\pi} d\theta = \left[\theta \right]_0^{2\pi} = 2\pi$$

$$Mh = \frac{4}{D^2} Sh \cdot \frac{D^5}{160} \cdot 2\pi$$

$Mh = \frac{\pi}{20} D^3 Sh$

fórmula 3.9

$$M = \frac{\pi}{2} D^2 H S_v + \frac{\pi}{10} D^3 S_h \quad \text{fórmula 3.10}$$

Considerando o material isotrópico:

$$S_u = \frac{2M}{HD^2 (H + D/5)} \quad \text{fórmula 3.11}$$

Observações:

- 1) A diferença de valores de S_u , considerando-se os três tipos de distribuição acima não é considerável;
- 2) Uma expressão geral para a resistência não - drenada pode ser indicada:

$$S_u = \frac{2M}{HD^3 \left(\frac{H}{D} + \frac{a}{2} \right)} \quad \text{fórmula 3.12}$$

onde de acordo com o tipo de distribuição de tensões nas superfícies horizontais, pode-se ter:

$$a = \frac{2}{3} \quad - \text{ uniforme}$$

$$a = \frac{1}{2} \quad - \text{ triangular}$$

$$a = \frac{2}{5} \quad - \text{ parabólica}$$

Assinale-se que Schmertmann (1975) indica $a = 3/5$ para a distribuição parabólica.

- 3) Para palhetas losangulares (tipo apresentado na figura 3.1.d) a expressão geral da resistência não drenada fica:

$$S_{\beta} = \frac{CM}{\frac{4}{3}\pi a^3 \cos^2 \beta}$$

fórmula 3.13

Esta fórmula dá a resistência não drenada em um plano, fazendo $\pm \beta^{\circ}$ com o plano horizontal.

3.4.3 - FATORES QUE INFLUEM NA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE PALHETA

Os fatores abaixo relacionados e comentados, influem no valor de S_u :

- a) processo empregado para abertura do furo;
- b) dimensões da palheta;
- c) velocidade de rotação da palheta;
- d) tempo decorrido entre a cravação da palheta e o início do ensaio;
- e) heterogeneidade da camada argilosa;
- f) anisotropia na resistência ao cisalhamento;
- g) ocorrência de ruptura progressiva;
- h) deformação da argila devido à penetração da palheta;
- i) aumento de diâmetro do cilindro de ruptura.

Os itens a a c já foram convenientemente analisados anteriormente.

Sobre o tempo decorrido entre a cravação do "Vane" e o início do ensaio, Flaate (1966) relata ensaios realizados variando este tempo de 3 minutos (tempo normal decorrido) a 480 minutos. Obteve como resultado maiores valores de S_u para tempos de espera maiores, embora nos tempos intermediários (entre 7,5 e 60 minutos) estes valores se apresentassem indefinidos.

O problema está relacionado com o desenvolvimento das pressões neutras e pode ser resumido no fato de que no estágio atual a simples realização de ensaios de palheta, não permite obter os dados para o estudo de resistência em termos de comportamento drenado dos depósitos argilosos. Ter-se-ia que lançar

mão de ensaios de laboratório com medida de pressões neutras, para que fossem avaliados tais parâmetros; o que vai de encontro às vantagens apresentadas pelo método.

Mesmo considerando-se o comportamento não drenado, a ocorrência de drenagem parcial ao redor da palheta é fato presumível e sem condições de ser detectado quantitativamente.

Segundo Aas (1975) para as argilas norueguesas, o valor de S_u pode variar de 50% para ensaios executados logo após a inserção da palheta e para os ensaios realizados 24 horas depois.

A aplicação das fórmulas deduzidas para determinação da resistência, só é possível quando se faz $S_u = S_v = S_h$. Isto pressupõe um comportamento isotrópico da argila ensaiada.

A indeterminação para obtenção da anisotropia de resistência ao cisalhamento, através do "Vane Test", pode ser levantada empregando-se no mínimo duas palhetas de dimensões diferentes nos ensaios. A utilização de palhetas especiais losangulares tem sido, também, testada com a mesma finalidade.

Aas (1965) propôs a separação de valores de S_v e S_h , partindo das fórmulas clássicas, da seguinte maneira:

$$M = \frac{\pi}{2} D^2 H S_v + \frac{\pi}{6} D^3 S_h \dots$$

$\frac{2M}{\pi D^2 H} = S_v + \frac{1}{3} \frac{D}{H} S_h$	Fórmula 3.14
--	--------------

A representação gráfica da expressão acima, num sistema de eixos cartesianos, marcando-se em abcissas os valores de $\frac{1}{3}$

$\frac{D}{H}$ em ordenadas os valores de $\frac{2M}{\pi D^2 H}$ é uma reta de coeficiente angular Sh e ordenada na origem S_v . Pode-se assim obter esta reta, ensaiando-se com no mínimo duas palhetas de relação $\frac{D}{H}$ diferentes, conforme figura 3.8.

Aas, (1967) estudando a anisotropia de resistência ao cisalhamento para quatro depósitos noruegueses, encontrou valores de $\frac{Sh}{S_v}$ variando de 1,1 a 2,0. Valores de Sh entre 1,5 e 2,0 foram determinados para argilas normalmente adensadas. O valor $\frac{Sh}{S_v} = 1,1$, foi encontrado para a argila pré-adensada de Åserum. Deve-se ressaltar que para estas determinações, cada ponto obtido no gráfico representa o valor médio para uma determinada palheta, sem levar em consideração a profundidade do ensaio realizado. Este processo pressupõe, também, que os valores de Sh e S_v máximos ocorram para o mesmo ângulo de rotação, no qual o momento resistente é máximo e consequentemente S_u é máximo.

Divergindo deste pressuposto, Wiesel (1973) indicou um novo método de separação dos valores de Sh e S_v , que é a seguir apresentado, tendo-se:

$$M = M_v + 2M_h$$

Chamando a altura do "Vane" de H e o torque medido, "no plano vertical", através de um "Vane" de altura unitária, de m_v , a expressão acima pode ser reescrita:

$$M = m_v H + 2M_h$$

A sua representação gráfica num sistema de eixos coordenados, marcando-se em abcissas os valores de H e em ordenadas os valores de M , é uma reta de coeficiente angular m_v e de ordenada na origem $2M_h$, conforme mostrado na figura 3.9.

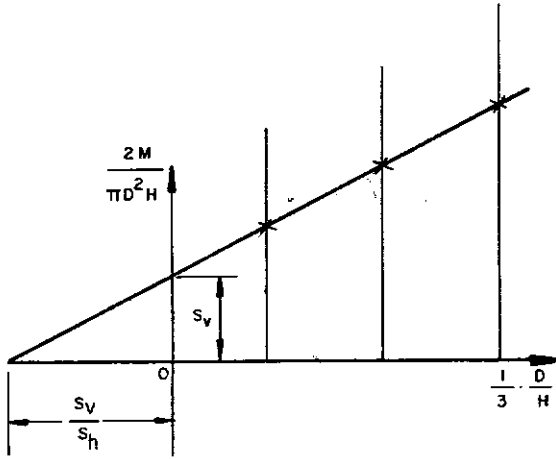


FIGURA 3.8- DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA. PROCESSO DE AaS

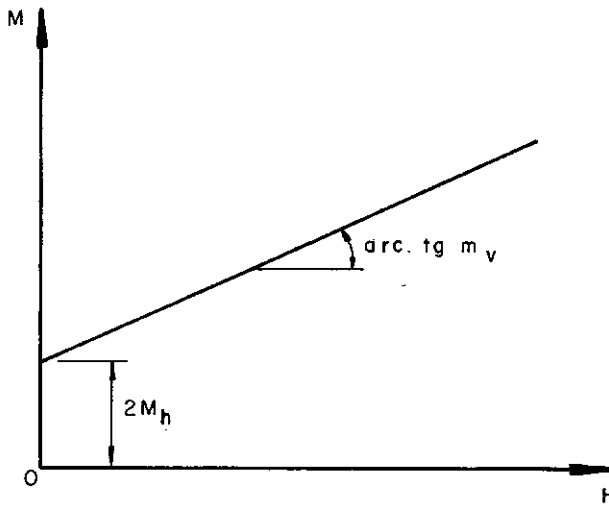


FIGURA 3.9- DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA. PROCESSO DE WIESEL

Tendo-se em vista que:

$$M_v = m_v H = \frac{\pi}{2} D^2 H S_v \text{ e}$$

$$2 M_h = \frac{\pi}{6} D^3 S_h$$

teremos:

$$S_v = \frac{2 m_v}{\pi D^2}$$

Fórmula 3.15

$$S_h = \frac{6 \cdot 2 M_h}{\pi D^3}$$

Fórmula 3.16

Os valores de m_v e M_h dependerão apenas do ângulo de rotação e não das dimensões da palheta empregada.

Para uma mesma profundidade, pode-se então obter os valores de S_h e S_v para cada ângulo de rotação e determinar os valores de S_h e S_v máximos, que servirão para determinar $\frac{S_h}{S_v}$. Através desta concepção, estes valores máximos poderão ser referentes a ângulos diferentes. Para a argila estudada por Wiesel (SKA Edeby), o valor de S_h/S_v variou entre 0,6 e 0,8.

Lemasson (1976), propôs, também, um método para determinação do grau de anisotropia de uma argila.

Este método, por ele denominado "Método das Palhetas Coaxiais", consiste no emprego de um dispositivo no qual estão acopladas três palhetas, todas num mesmo eixo conforme esquema mostrado na figura 3.10. Inicia-se o ensaio, primeiro com a rotação das palhetas externas até ao ângulo de rotação θ_f e após a obtenção de um momento máximo M_1 relativo ao ângulo de rotação θ_1 .

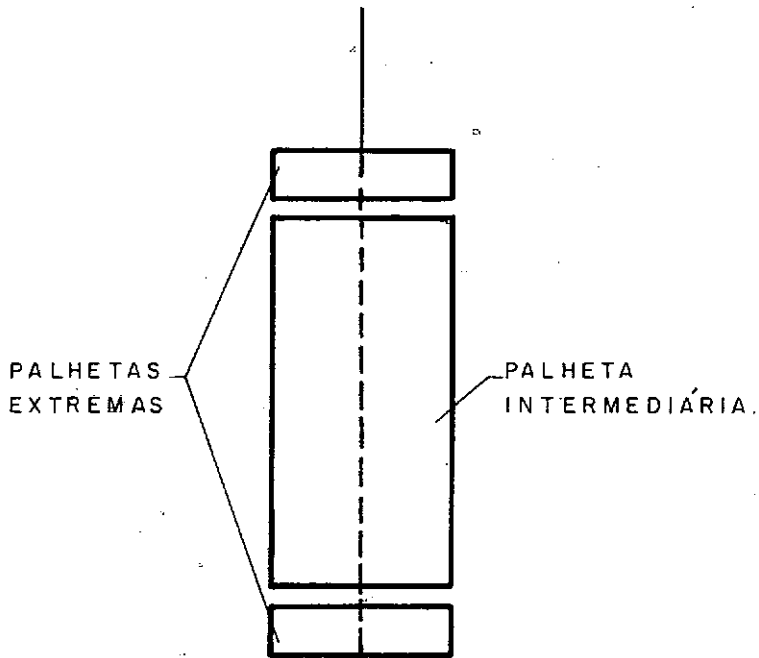


FIGURA 3-10 - SEÇÃO LONGITUDINAL DA PALHETA COAXIAL.

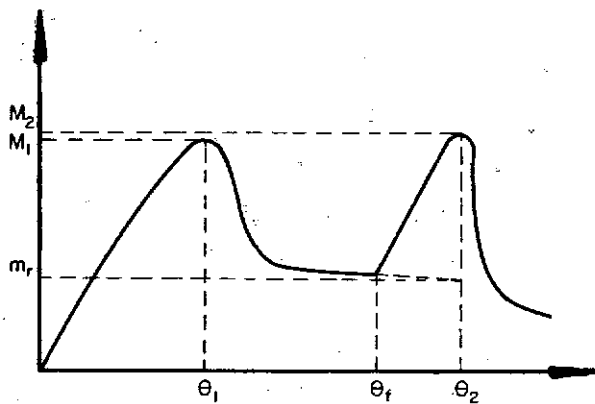


FIGURA 3-11 - CURVAS TORQUE-ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS COM PALHETA COAXIAL

Após o ângulo da rotação θ_f , as três palhetas passam a girar juntas, obtendo-se um novo momento máximo M_2 relativo ao ângulo θ_2 de rotação das palhetas. A figura 3.11 apresenta o gráfico torque x ângulo de rotação para este ensaio.

Ocorre no entanto, que logo depois do ângulo θ_f não há mais movimento relativo entre as palhetas, e assim não poderá ser contada a resistência ao cisalhamento que ocorreria nos planos horizontais, referentes às faces internas das palhetas externas. Tudo se passa como se a palheta intermediária cisalhasse o solo, apenas, no plano vertical, a menos de uma resistência ao cisalhamento residual que ocorre no plano das faces horizontais externas das palhetas externas e nas faces verticais destas mesmas palhetas.

O momento m_r no gráfico da figura 3.11, obtido por extrapolação linear, é o valor do momento residual, que ocorreria para o ângulo de rotação θ_2 (momento M_2), caso ocorresse resistência ao cisalhamento nos dois planos horizontais de cada uma das palhetas externas.

Como tal não acontece, é feita uma correção que consiste na multiplicação de m_r por uma percentagem do coeficiente de forma, pela qual uma palheta externa possuiria apenas um plano horizontal de cisalhamento.

O momento M_v pode então ser obtido diretamente de:

$$M_v = M_2 - m, \text{ sendo } m \text{ o resultado da correção aplicada a } m_r.$$

Obtendo-se assim, S_v diretamente de M_v , o restante do procedimento será o preconizado por Aas (1965), apenas pela obtenção de dois pontos para a reta apresentada na figura 3.8:

- Um ponto sobre o eixo das ordenadas obtido com o valor do Sv.
- Um ponto para o valor das coordenadas relativas uma palheta de extremidade (momento $\frac{Ml}{2}$ na figura 3.11).

O coeficiente angular da reta assim obtida, indicará o valor de Sh, conforme o método de Aas.

Com a aplicação deste método, foi obtida uma relação Sh/Sv média de 0,77 para o depósito de Cran e um valor médio de 0,84 para o depósito de Muzillac.

Deve-se ressaltar que os valores de graus de anisotropia assim obtidos, apresentaram-se muito menos dispersos que os calculados através do processo de Aas, atribuindo Lemasson (1976) tal fato a ser o ensaio realizado em um único ponto do maciço e não em dois ou três pontos distintos como no processo adotado por Aas.

Empregando palheta losangular com $\beta = 45^\circ$, Aas (1967) encontrou um valor de $S_{45} = 0,63t/m^2$ entre os valores de Sv = $0,53t/m^3$ e Sh = $0,95t/m^2$. Ao marcar estes valores em um gráfico Sh perpendicularmente a Sv e S_{45} na bissetriz, obteve uma variação sensivelmente elíptica para os valores de resistência não drenada referenciada a diversos planos.

Richardson, Brand and Memon (1975) empregando duas palhetas retangulares (13cm x 6,5cm e 6,5cm x 13cm) e três losan-gulares ($\beta = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$ e $\beta = 60^\circ$) obtiveram também uma varia-ção acentuadamente elíptica.

Para esta "Bangpli Clay" foi obtido um valor de $\frac{Sh}{Sv}$ sensivelmente igual a 0,6.

Menzies e Mailey (1976) estudando as argilas de North

Sea e New Blind Yeo nos E.U.A., para valores de Sh/S_v de 0,55 e 0,53, respectivamente, obtiveram variação elíptica.

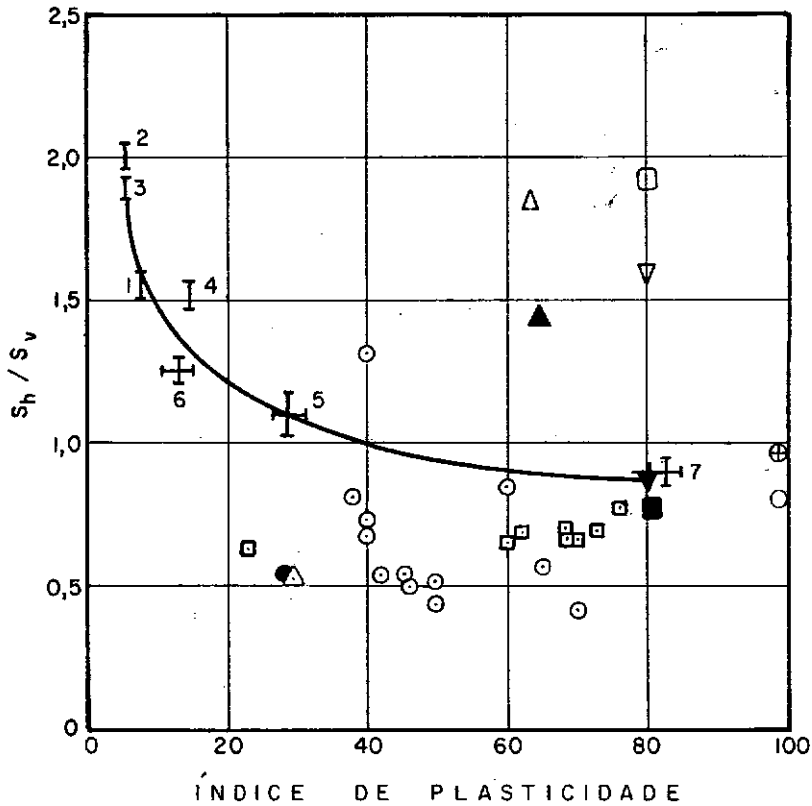
Bjerrum (1973) sugeriu a correlação $\frac{Sh}{S_v}$ com o Índice de Plasticidade. Tal correlação é apresentada na figura 3.12 acrescida dos dados obtidos por Wiesel (1973), Richardson, Brand e Memon (1975), Menzies e Mailey (1975), Lemasson (1976), e pela presente pesquisa.

Um dos aspectos do modelo de ruptura de um solo, através do "Vane" referido anteriormente, pressupõe a ocorrência da superfície de ruptura, cilíndrica vertical e duas superfícies planas na parte superior e inferior da palheta, sem a ocorrência de ruptura progressiva, sendo a resistência ao cisalhamento considerada mobilizada ao mesmo tempo em todos os pontos de todas as superfícies.

Cadling e Odenstad (1950) foram os primeiros a estudar, de maneira engenhosa, a possibilidade de ocorrência da ruptura progressiva.

Estes estudos em modelos indicaram a presença de uma deformação maior na parte da frente da palheta. Concluíram, mesmo assim, estes autores que as deformações aparecem uniformemente em toda a superfície de ruptura, não havendo assim maior significado levar-se em conta este problema nos resultados dos ensaios.

No entanto, estudos efetuados por La Rochelle, e Lefebvre (1971), La Rochelle, Roy e Tavenas (1973) e La Rochelle, Roy e Tavenas (1974) nos depósitos argilosos de Lake Champlain, indicaram valores de resistência não drenada inferiores aos obtidos por ensaios de compressão em amostras. Nestes trabalhos,



	<u>Depósito</u>	<u>Referência</u>
1	Manglerud	Bjerrum (1973)
2	Lierstranda	"
3	Kjels	"
4	Lean Drammen	"
5	Plastic Drammen	"
6	Lean Drammen	"
7	Bangkok	"
○	Ska-Edeby	Wiesel (1973)
□	Bangpli	Richardson e outros (1975)
●	North Sea	Menzies/Mailey (1975)
△	New Blind Yeo	Menzies/Mailey (1975)
■	Sarapuí (Aas)	I.P.R. (1978)
□	Sarapuí (Wiesel)	"
▼	Magé (Aas)	"
▽	Magé (Wiesel)	"
▲	Alcântara (Aas)	"
△	Alcântara (Wiesel)	"
○	Cran (Aas)	Lemasson (1976)
⊕	Cran (Lemasson)	"

FIGURA 3.12 - VALORES DE ANISOTROPIA EM DIVERSOS DEPÓSITOS x ÍNDICE DE PLASTICIDADE.

a causa desta discrepância foi atribuída à ocorrência de ruptura progressiva durante os Ensaio de Palheta realizados.

A idêntica conclusão chegaram Amar, Baguelin, Jezequel e Mehaute (1975).

Leblanc (1975) pesquisando sobre um possível protótipo de modelo de ruptura para os ensaios de palheta, na Universidade de Laval, com a utilização de Raio X, concluiu que, embora a resistência de "peak" observada na curva resistência S_u x ângulo de rotação da palheta ocorresse a 5° , não havia ainda, para este ângulo, indício de aparecimento de superfície de ruptura, o que só aconteceu para ângulo superior a 12° . A formação total da superfície de ruptura deu-se para ângulo maior que 45° .

Esta constatação afeta diretamente o modelo escolhido para este ensaio, bem como as hipóteses para o seu adequado tratamento teórico-matemático.

Não considerando-se obviamente uma possível cravação da palheta em região de solo amolgado (cravação à distância menor de $5d$, do fundo do furo executado a trado ou da bainha de proteção da palheta), a perturbação da argila pela cravação do "Vane", foi estudada por La Rochelle, Roy e Tavenas (1973), conforme descrito no item 3.2.

A consequência deste amolgamento é diminuir o valor de S_u .

Estudos efetuados por Arman, Poplin e Ahmad (1975) indicaram um aumento de 5% do diâmetro do cilindro de ruptura em relação ao diâmetro da palheta. O mesmo já havia sido observado por Skempton.

A fórmula 3.5 mostra que este aumento sendo computado, o valor de S_u calculado sofreria uma redução de 16%.

Portanto, calculando-se como de praxe sem levar em conta este aumento de diâmetro, o valor de S_u torna-se superior ao real.

3.4.4 - CORREÇÕES NO VALOR DE S_u

Bjerrum (1972), tendo em vista valores de resistência não drenada diferentes dos valores médios mobilizados nas superfícies de escorregamento em aterros, comprovados por estudo estatístico, propôs correções no valor de S_u , provenientes de ensaios de palheta.

Como principais fatores responsáveis pela discrepância entre estes valores, foram por Bjerrum relacionados:

- a) efeito de tempo - Diferença entre o tempo gasto (alguns minutos) no carregamento através de um ensaio, no caso "Vane Test", e o tempo do carregamento (algumas semanas ou meses) nos casos da prática de engenharia. Conforme mostrado por Wiesel (1973), quanto maior a velocidade do carregamento maiores serão as resistências obtidas.
- b) anisotropia - Influência diretamente no Valor de S_u a ser escolhido para análise de estabilidade de aterros, nos solos de comportamento anisotrópico quanto à resistência ao cisalhamento não drenada.
- c) ruptura progressiva na superfície de ruptura no campo - Quando ocorre um carregamento externo crescen

te com o tempo (como no caso de um aterro viário, por exemplo), as tensões cisalhantes desenvolvidas no maciço de fundação diferem de ponto para ponto. O nível de tensões varia ao longo de uma superfície potencial de ruptura e a resistência máxima ao cisalhamento é atingida em um certo ponto quando, em outras regiões, o nível de tensões é ainda inferior ao máximo. Nestas condições, o fator de segurança global da obra é superior à unidade mas se inicia o processo de escoamento localizado. Se o solo exibe friabilidade em termos de resistência ao cisalhamento não-drenado, a um acréscimo de deformações experimentado pelo ponto onde se atingiu a resistência máxima corresponde uma queda na tensão cisalhante e a transferência de parte dela para regiões vizinhas. Ocorre como que uma propagação de tensões cisalhantes dos pontos mais carregados para os de menor nível de tensões. Este mecanismo ao qual se dá o nome de ruptura progressiva, é responsável em parte pelo fato de a ruptura total ser atingida quando é ainda superior à unidade o fator de segurança calculado com base na resistência máxima (de pico) do solo de fundação. Tal processo é tão mais importante quanto maior a friabilidade do material em termos de resistência não-drenada e mais inclinada a curva tensão-deformação do solo para deformações pós-pico. Por isto, nas argilas sensíveis, a consideração de ruptura progressiva desempenha um papel importante na análise de estabilidade.

Esta correção proposta por Bjerrum baseou-se no estudo de uma série de 14 casos de ruptura de aterros, com predições de estabilidade sustentadas em valores de resistência não drenada medidos "in situ".

Na ocasião apresentou o gráfico mostrado na figura 3.13.

Indicou também, através do outro gráfico, figura 3.14a uma curva de correção.

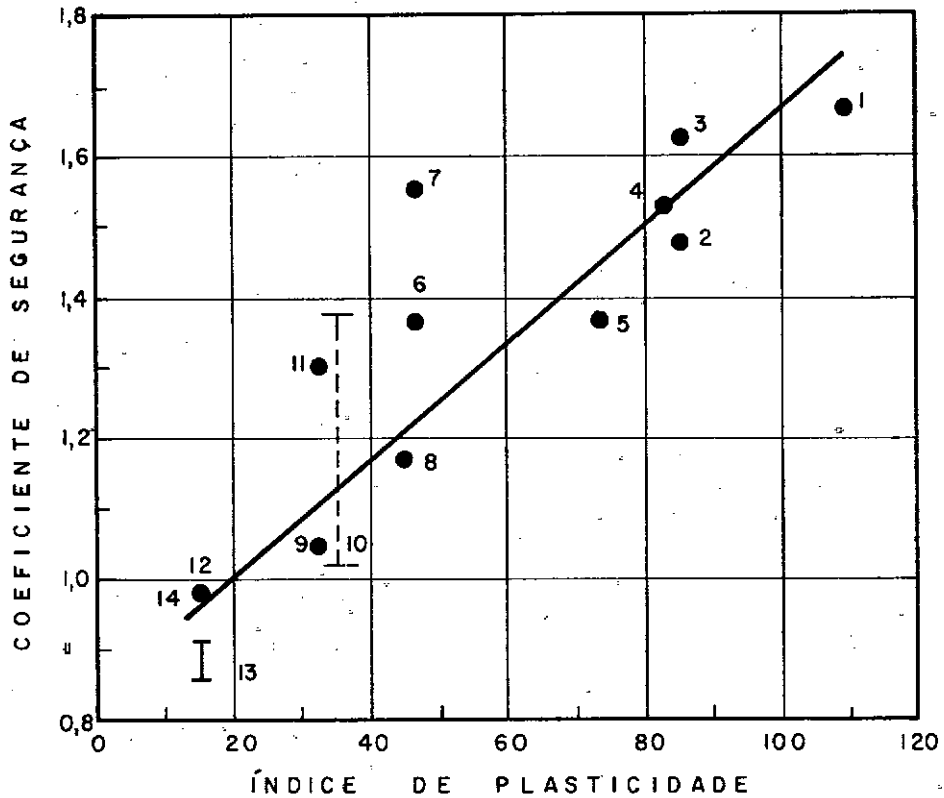
Esta curva, derivada do tratamento estatístico dos 14 casos de ruptura de aterros, engloba as três causas de discrepância acima apontadas, embora Bjerrum (1972) a apresente como correção apenas para os efeitos de tempo de carregamento e anisotropia. Convém se ressaltar que Bjerrum considera ser de segunda ordem o efeito da ruptura progressiva em argila de alta plasticidade sob carregamento não-drenado.

Assim, propôs Bjerrum (1972) um aperfeiçoamento, com a finalidade de se levar em consideração o "efeito de anisotropia", principalmente para solos de baixo Índice de Plasticidade. Seriam definidos agora, dois fatores de correção:

μ_R - Correção de "efeito do tempo" - obtido no gráfico da figura 3.14a - curva tracejada

μ_A - Correção de anisotropia.

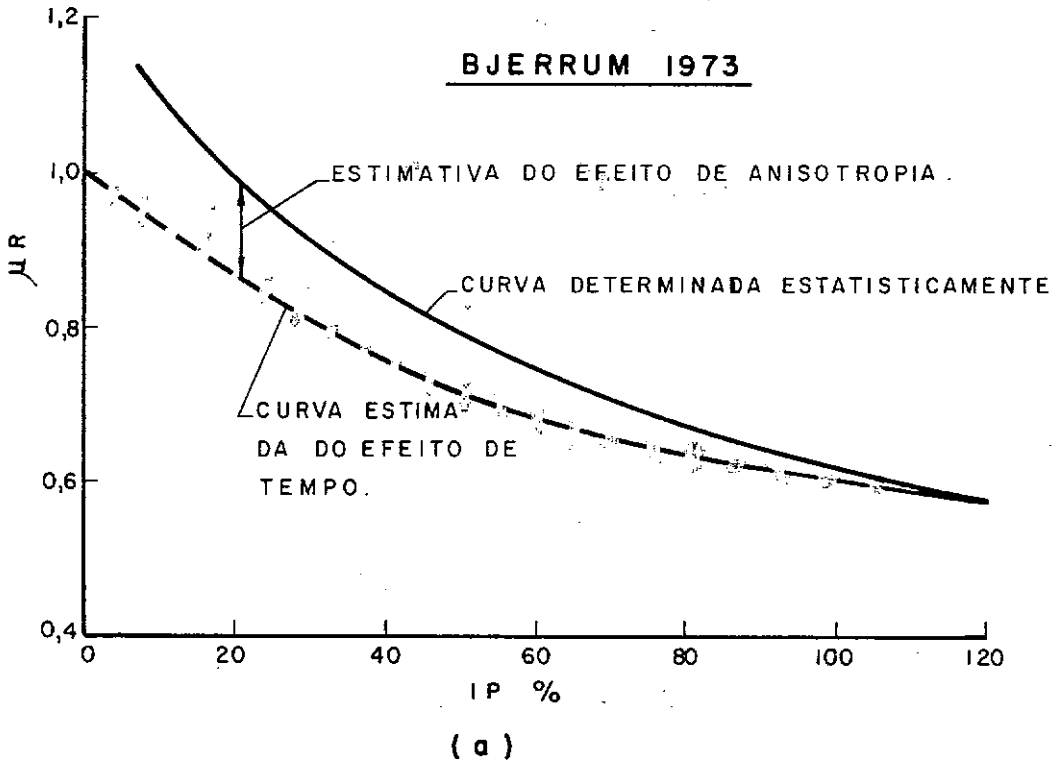
B.K. Menzies (1976), tendo em vista estudos anteriores de Raymond (1967), bem como o clássico trabalho de Casagrande e Carrillo (1944), desenvolveu teoricamente o assunto e obteve como resultado o gráfico mostrado na figura 3.14b que corrige o valor de S_u do "Vane", levando em consideração a relação S_v/S_h ,



LOCAIS:

- | | |
|----------------|------------------|
| 1 — SCOTTADALE | 8 — PORNIC |
| 2 — BANGKOK A | 9 — NOW LISKEERD |
| 3 — BANGKOK B | 10 — KING'S LYNN |
| 4 — SCRAPAGATE | 11 — POLAVES |
| 5 — LANESTER | 12 — NARBONNE |
| 6 — CUBZAC | 13 — PORTAMOUTH |
| 7 — MATAGAMI | 14 — FAIR HAVEN |

FIGURA 3-13 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE
ATERROS SOBRE ARGILAS MOLES x
ÍNDICE DE PLASTICIDADE
(BJERRUM 1973)



$$Su(\text{campo}) = \mu_R \cdot \mu_A \cdot Su(\text{vane})$$

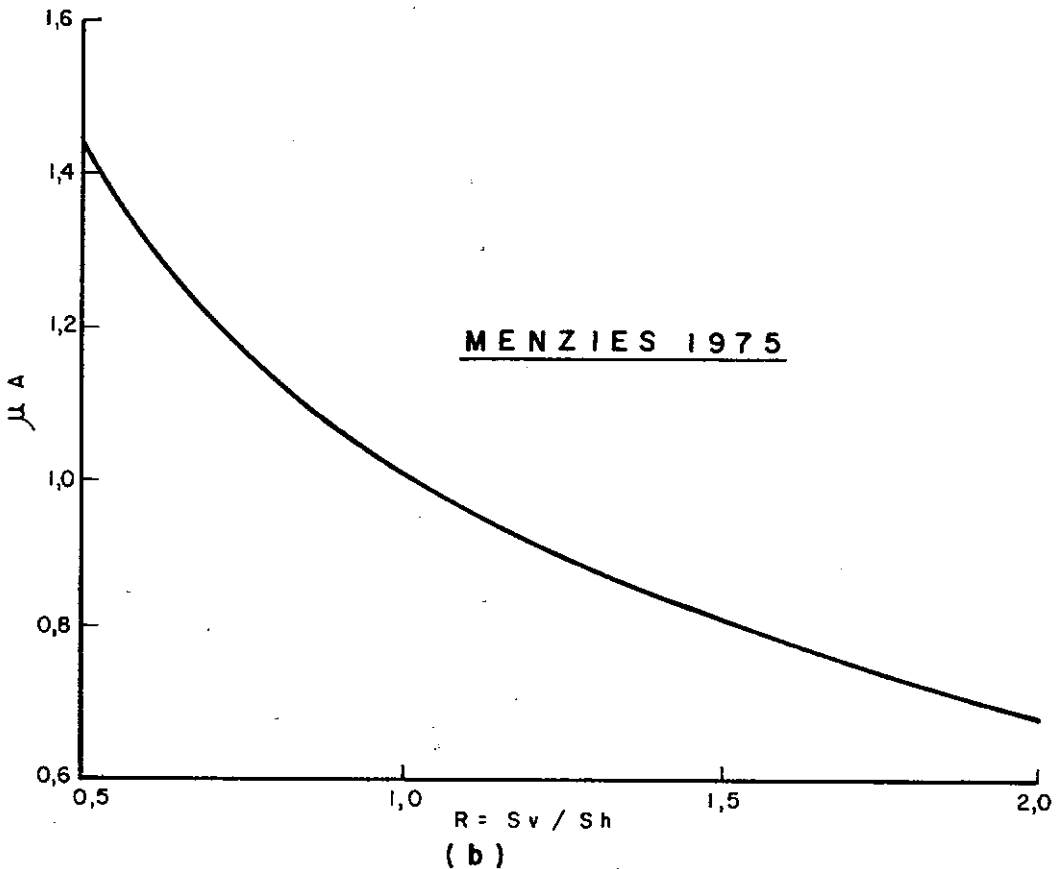


FIGURA 3.14 - FATÔRES DE CORREÇÃO PARA VALORES DE S_u OBTIDOS POR ENSAIOS DE PALHETA

que como já foi visto pode ser determinada, também, por intermédio de Ensaaios de Palheta.

É interessante acrescentar que segundo opinião daquele autor, a curva de correção de Bjerrum (curva cheia da figura 3.14a), corrige os efeitos de tempo de carregamento e ruptura progressiva, mas não pode ser correlacionada com o Índice de Plasticidade, determinado a partir de ensaios com material amolgado.

Assim, a correção segundo Menzies seria para solos de baixa plasticidade maior que a encontrada por Bjerrum em tratamento estatístico.

3.4.5 - RESISTÊNCIA COM ARGILA DEFORMADA - DETERMINAÇÃO DA SENSITIVIDADE

Conforme anteriormente relatado, faz-se prática usual, após a realização de qualquer ensaio com material indeformado, proceder à rotação da palheta com maior velocidade, de maneira a "quebrar-se" a estrutura da argila na superfície de ruptura e propiciar a execução do Ensaio "Vane" com a argila "amolgada".

O ensaio é em geral realizado da mesma maneira que o ensaio com argila indeformada, sendo medido o torque máximo para de terminação de resistência "amolgada".

A importância de obtenção deste resistência seria a de se calcular a sensibilidade ou sensibilidade da argila, definida como a relação entre a resistência ao cisalhamento com o material indeformado e a sua resistência após a quebra total da sua estrutura.

No entanto, a sistemática convencionada de amolgar a argila (rotação da palheta com maior velocidade) não produz necessariamente a quebra de estrutura da argila, parecendo indicar somente uma resistência residual à grande deformação (Schmertmann-1975).

Esta hipótese é robustecida pela comparação entre valores de sensibilidade de argilas, obtidos com material completamente amolgado em laboratório, e valores de sensibilidade extraídos de Ensaio "Vane" de campo ou mesmo de Ensaio "Vane" de laboratório. Aqueles ensaios apresentam valores de sensibilidade sistematicamente maiores que os obtidos por Ensaio "Vane" de laboratório ou campo (Eden e Hamilton-1956, Fenske-1956).

Schmertmann (1975) indica que a sensibilidade obtida através do "Vane" frequentemente apresenta maiores valores que a obtida de ensaios de compressão simples em amostras completamente amolgadas.

Bjerrum (1973) explica tal diferença pelos valores altos de resistência com argila amolgada através dos ensaios de palheta, motivados pelos igualmente altos valores de atrito no aparelho.

4 - CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS ARGILOSOS

Os ensaios de Palheta foram executados em três depósitos de Argila Mole, a saber:

Local I - Sarapuí

km 7,5 da Rodovia Rio-Petrópolis

Local II - Alcântara

Bairro Jardim Catarina - Município de São
Gonçalo

Local III - Magé

Próximo ao Rio Guaraí, trecho Manilha-Magé
da Estrada de Contorno.

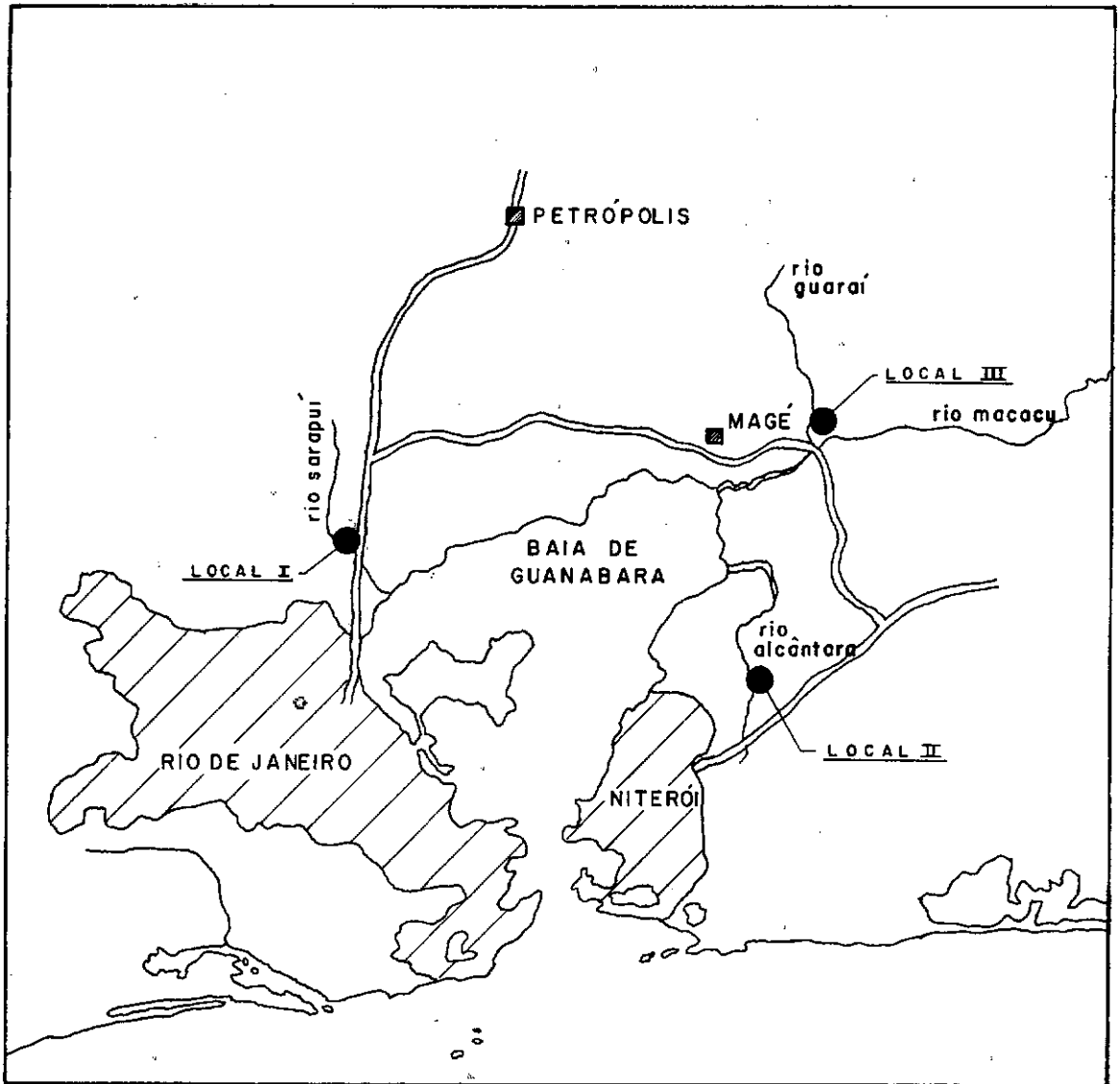
Estes locais estão apresentados na figura 4.1.

Com a finalidade de se realizar a caracterização destes depósitos argilosos e de proceder a elaboração dos respectivos perfis geotécnicos, foram empreendidas campanhas para retirada de amostras indeformadas.

Assim, foram efetuadas sondagens para obtenção de amostras indeformadas, utilizando-se tubos "Shelby" convencionais de parede fina, com 63,5mm (2,5 pol.) de diâmetro.

Em cada local foi executado um furo de sondagem com tal finalidade, sendo os tubos cravados de maneira a obter-se amostras continuamente, isto é, em toda a espessura do depósito prospectado.

Estas amostras, após cuidadosamente armazenadas em câmara úmida, eram retiradas para os ensaios de caracterização.



LOCAL I - SARAPUI
LOCAL II - ALCANTARA
LOCAL III - MAGE

FIGURA 4.1 - LOCALIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS ARGILOSOS

Procurou-se também, concomitantemente com estes ensaios, proceder uma caracterização da macroestrutura de cada depósito, com a observação visual de ocorrência de lentes de areia, conchas, matéria orgânica, etc.

Estes ensaios foram realizados no laboratório da PUC-RJ, sob a supervisão do Prof. Tácio Mauro P. de Campos.

Nestes ensaios foi utilizada, de maneira geral, a sistemática preconizada pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com as modificações julgadas necessárias, tendo em vista a experiência dos próprios responsáveis pelo laboratório executante e indicações na bibliografia internacional sobre o assunto.

Os pontos básicos dos métodos de ensaio empregados, não constantes de normas brasileiras, são a seguir abordados.

a) Limite de Liquidez - LL (%) -

Com o material na umidade natural foi executado um ensaio no aparelho de Casagrande. No caso de número de golpes menor que 21, deixava-se o material perder umidade gradativamente de duas maneiras, a saber:

- ao ar num intervalo de tempo de aproximadamente 45 minutos, para cada ponto;
- sob lâmpada a 60°C, com tempo de exposição da amostra de aproximadamente 5 minutos, para cada ponto.

Caso o número de golpes obtidos no ensaio de referência excedesse a 21, acrescentava-se água destilada, procedia-se a cura por 24 horas e então

saiava-se da maneira acima descrita (número de golpes, menor que 21).

Em todos os ensaios foram obtidos, no mínimo, 5 pontos correspondendo a faixa entre 10 e 40 golpes;

b) Limite de Plasticidade - LP (%) -

Este ensaio seguiu a rotina indicada pela NB, tendo sido, entretanto, executado com o material:

- restante do limite de liquidez seco ao ar;
- restante do limite de liquidez seco em lâmpadas a 60°C;
- material ainda não utilizado em nenhum ensaio, na umidade natural;

c) Densidade dos Grãos - G -

Utilizado material na umidade natural, com acrêscimo de água destilada e homogeneização com espátula. Desaeração por aquecimento até cerca de 80°C e aplicação de vácuo aos 40°C.

Peso seco obtido por secagem em estufa.

d) Peso Específico Natural - γ_{nat} -

Determinado pesando-se o material no interior do tubo "Shelby" e dividindo-se pelo seu respectivo volume.

e) Ensaio de Sedimentação -

Utilizado, também, material na umidade natural.

Empregado o hexametáfosfato de sódio (45,7 g/litro de solução) como defloculante.

Tempo de dispersão - 15 minutos.

Peso seco obtido por secagem em estufa, após ensaio. Os resultados deste ensaio devem ser tomados com certa reserva, pois suspeita-se quanto à eficiência do defloculante empregado.

Pesquisa neste sentido está sendo executada no presente momento, no laboratório da PUC, visando obter sedimentação utilizando outro tipo de defloculante.

As tabelas n^os 4.1 a 4.3 apresentam um resumo dos resultados obtidos nestes ensaios, para cada um dos depósitos argilosos estudados.

TABELA 4.1 - CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO ARGILOSO DO SARAPUÍ

Profundidade (m)	LL (%)		LP (%)		IP (%)	Umidade Natural (%)	G	γ_{nat} (t/m ³)	(%) < 2 μ
	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)				
3,00 a 3,50	151,5	145,3	61,1	51,3	90,4	167,1	2,66	1,33	62
3,50 a 4,00	150,0	148,5	59,8	54,6	90,2	166,1	2,68	1,38	62
4,00 a 4,50	142,5	144,2	60,1	49,3	82,4	174,0	2,65	1,35	65
4,50 a 5,00	143,5	137,8	49,1	49,5	94,4	155,6	2,65	1,43	62
5,00 a 5,50	137,0	142,5	49,8	58,5	87,2	158,1	2,69	1,39	64
5,50 a 6,00	134,0	128,0	47,5	50,0	86,5	143,3	2,69	1,46	56
6,00 a 6,55	136,2	136,8	47,7	49,3	88,5	151,0	2,68	1,42	60
6,55 a 7,10	130,3	127,5	-	47,1	80,4 *	133,8	-	1,42	-
7,65 a 8,05	119,0	118,0	45,0	44,4	74,0	124,5	2,70	1,38	53
9,30 a 9,85	111,0	111,0	41,4	43,4	69,6	118,2	2,70	1,48	64

(1) - Material seco ao ar.

(3) - IP = LL(1) - LP(1)

(2) - Material seco sob lâmpada a 60°C.

* - IP = LL(2) - LP(2)

TABELA. 4.2 - CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO ARGILOSO DE ALCÂNTARA

Profundidade (m)	LL (%)		LP (%)		IP (%)	Umidade Natural (%)	G	Y _{nat} (t/m ³)	(%) < 2 μ
	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)				
1,00 a 1,55	75,0	-	32,2	-	42,8	52,0	2,49	1,66	-
1,55 a 1,98	-	108,2	39,7	37,8	70,4 *	-	-	1,55	-
2,65 a 3,20	149,2	135,5	78,5	67,2	70,7	150,0	2,46	1,47	55
3,25 a 3,80	-	110,0	43,6	47,6	62,4 *	-	2,63	1,44	50
3,85 a 4,40	114,0	117,5	51,8	49,1	62,2	130,6	2,61	1,42	55
4,48 a 4,95	118,5	122,4	45,1	46,7	73,4	139,3	2,64	1,40	-
5,00 a 5,55	108,7	109,5	42,4	48,0	66,3	133,0	-	1,42	-
5,55 a 6,10	111,3	97,0	45,4	38,5	65,9	130,1	2,67	1,44	54
6,15 a 6,70	108,0	110,0	48,5	47,4	59,5	120,6	2,58	1,41	-
6,70 a 8,25	89,0	88,0	40,8	40,9	48,2	112,0	2,60	1,49	-

(1) - Material seco ao ar.

(3) - IP = LL(1) - LP(1)

(2) - Material seco sob lâmpada a 60°C.

* - IP = LL(2) - LP(2)

TABELA 4.3 - CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO ARGILOSO DE MAGÉ

Profundidade (m)	LL (%)		LP (%)		IP (%)	Umidade Natural (%)	G	γ_{nat} (t/m ³)	(%) < 2 μ
	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)				
3,00 a 3,55	153,5	154,5	51,0	49,4	102,5	157,6	2,58	1,37	62
3,55 a 4,10	144,0	154,0	54,5	50,5	89,5	159,5	2,67	1,36	50
4,10 a 4,65	137,3	142,0	50,4	55,5	86,9	148,8	2,67	-	70
4,70 a 5,25	150,0	146,5	58,9	57,1	91,1	159,4	2,68	1,36	70
5,25 a 5,80	142,5	147,5	60,8	59,1	81,7	146,7	2,67	1,37	51
5,90 a 6,45	143,0	137,6	56,7	51,3	86,3	147,7	2,66	1,39	64
6,50 a 7,05	132,1	133,5	52,0	52,3	80,1	140,3	2,65	1,40	60
7,05 a 7,60	119,0	123,0	48,7	43,4	70,3	160,0	2,65	-	61
7,65 a 8,20	-	128,5	-	52,2	76,3 *	138,0	2,67	1,40	58
8,30 a 8,85	123,2	115,5	51,3	47,6	71,9	132,4	2,70	1,42	46
8,90 a 9,45	117,1	120,4	45,5	45,4	71,6	137,7	2,69	1,42	51
9,55 a 10,10	117,9	118,9	45,3	47,2	72,6	122,0	2,69	1,45	58
10,30 a 10,85	126,0	127,9	52,3	43,0	73,7	133,0	2,65	1,39	58
11,00 a 11,55	128,0	126,2	47,2	46,3	80,8	139,6	2,66	1,43	49

(1) - Material seco ao ar.

(3) - $IP = LL(1) - LP(1)$

(2) - Material seco sob lâmpada a 60°C.

* - $IP = LL(2) - LP(2)$

5 - ENSAIOS REALIZADOS

5.1 - PRELIMINARES

Foram executados um total de 441 ensaios no período de 16/05/75 a 13/07/76, em 155 dias úteis de serviço.

Abriram-se para a realização destes ensaios um total de 63 furos com trado-concha e revestimento. Em cada local foram executados:

- Sarapuí - 41 furos;
- Alcântara - 13 furos;
- Magê - 9 furos.

Apresentamos na tabela 5.1 um quadro-resumo indicativo da quantidade total e diária de ensaios executados nos três locais acima referidos:

5.1 - Quadro-Resumo dos Ensaio Realizados

Local	Ensaio Definitivos			Ensaio de Atrito			Ensaio Experimentais			Totais		
	Quantidade	Dias Gastos	Produção Diária	Quantidade	Dias Gastos	Prod. Diária	Quantidade	Dias Gastos	Prod. Diária	Quantidade	Dias Gastos	Prod. Diária Média
Sarapuí 16/05/75 a 27/02/76	75	27	2,78	22	8	2,75	175	61	2,87	272	96	2,83
Alcântara 22/03/76 a 30/04/76	32	14	2,28	31	9	3,44	6	2	3,00	69	25	2,76
Magê 10/05/76 a 13/07/76	76	27	2,81	24	7	3,43	-	-	-	100	34	2,94

A localização dos furos dentro do depósito argiloso, bem como as distâncias entre os diversos furos, estão apresentadas nas figuras 5.1 a 5.3.

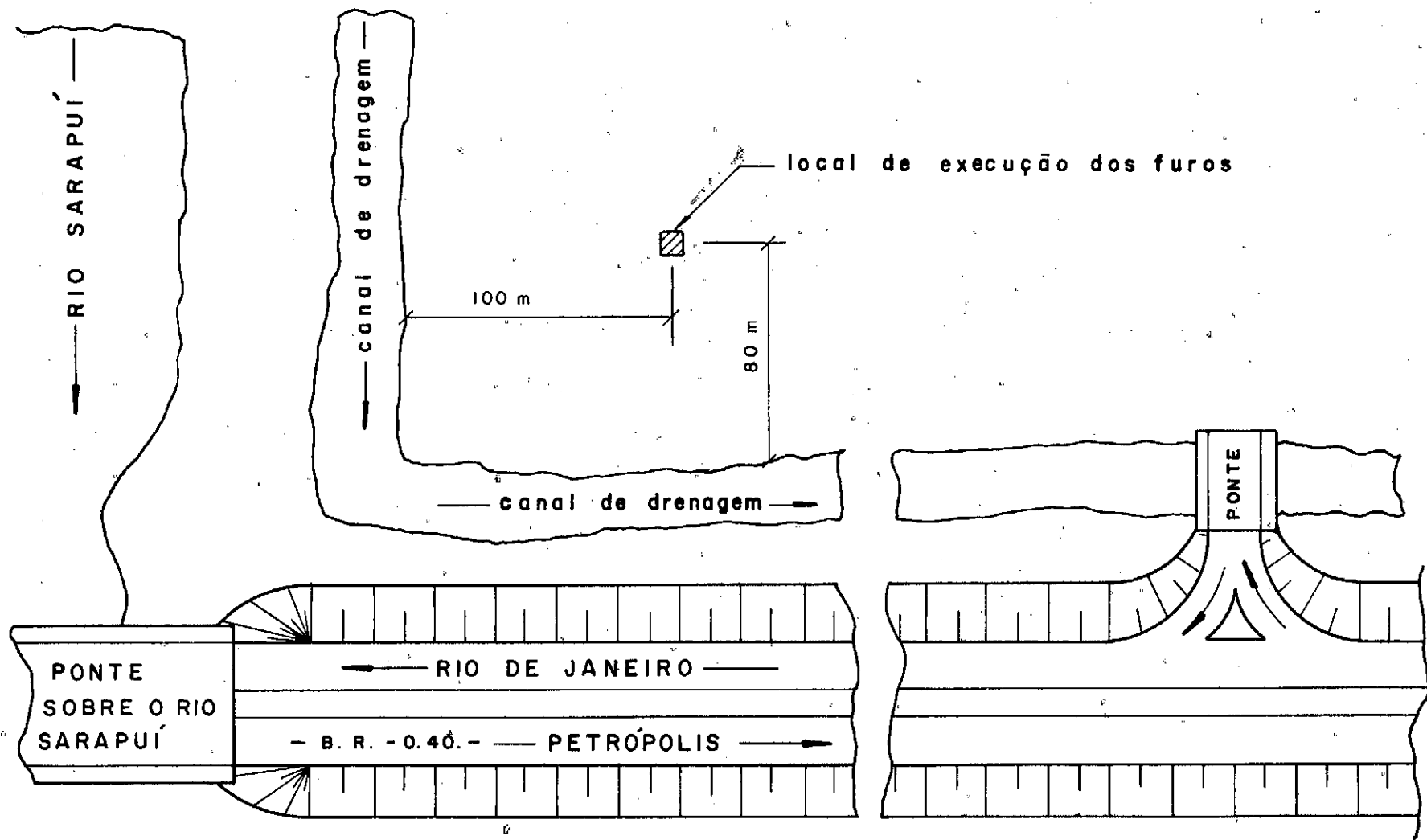
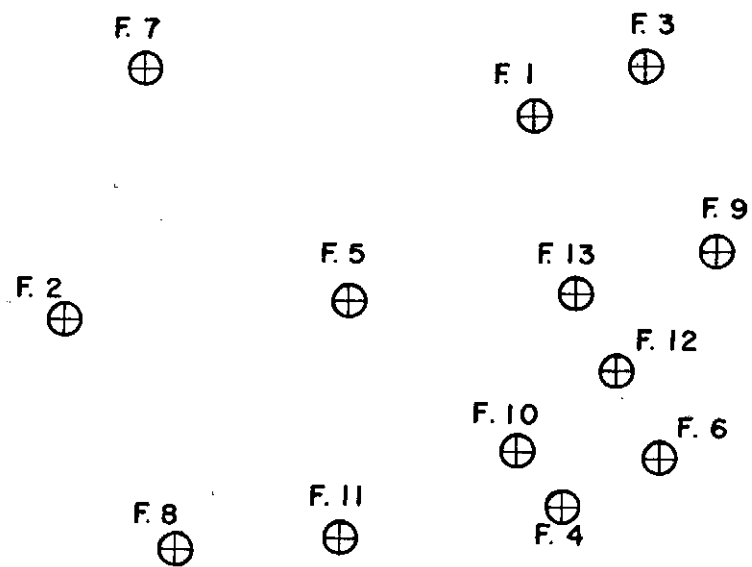


FIGURA 5-1- LOCAÇÃO APROXIMADA DOS FUROS PARA ENSAIOS DE PALHETA LOCAL - SARAPUÍ



ESCALA: 1:50

FIGURA 5.2- LOCAÇÃO APROXIMADA DOS FUROS PARA ENSAIOS DE PALHETA LOCAL - ALCÂNTARA

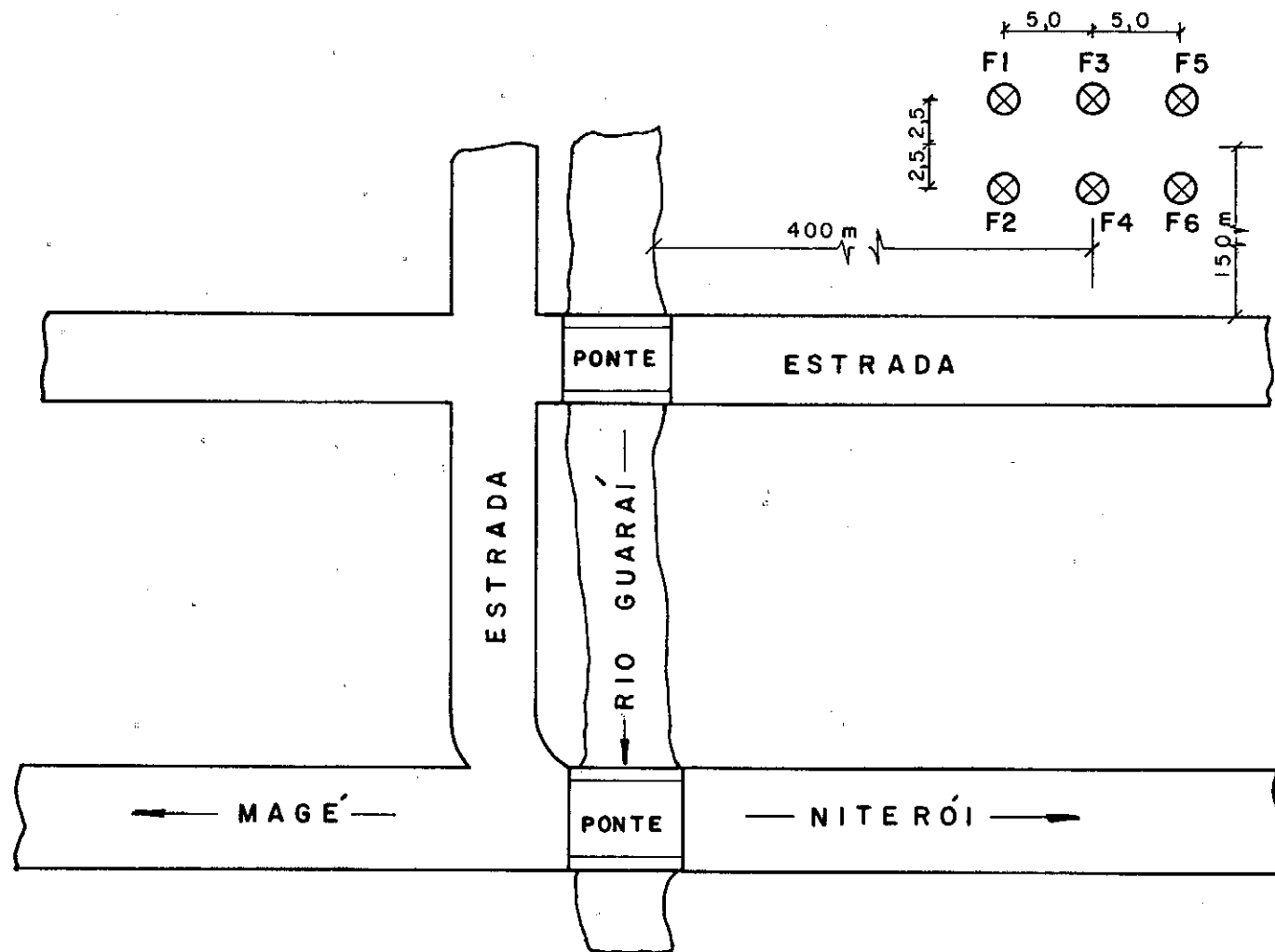


FIGURA 5.3- LOCAÇÃO APROXIMADA DOS FUROS PARA ENSAIOS DE PALHETA.
LOCAL - MAGÉ

5.2 - COMPONENTES DO EQUIPAMENTO EMPREGADO

- a) mesa suporte da mola, provida de engrenagens, parafusos fixadores, manivela para aplicação de rotação;
- b) mola em forma de anel, que é fixada à mesa. Foram utilizadas duas molas com rigidez (e consequente sensibilidades) diferentes, ambas aferidas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e no laboratório da DPq.

A deformação de referência na constante das molas é medida por deflectômetro com curso de 0,2000pol. e sensibilidade de 0,0001pol. Este deflectômetro mede a abertura ou fechamento da mola a medida que o torque vai sendo aplicado ao conjunto de hastes;

- c) peça de fixação da mesa - tubo com 203,2mm (8pol.) de diâmetro e 60cm de altura, provido de ressalto para fixação da mesa. Esta peça é cravada no terreno e serve como reação para o esforço aplicado à palheta;
- d) hastes de extensão - série de haste A (4,1cm de diâmetro), com um metro de comprimento cada, formando um conjunto através de "nipples" providos de roscas de seção quadrada.

São idênticas as utilizadas em sondagem rotativa;

- e) espaçadores para prevenir que as hastes de extensão toquem no revestimento. Para evitar atritos

exagerados, foram confeccionados de rolamentos comuns;

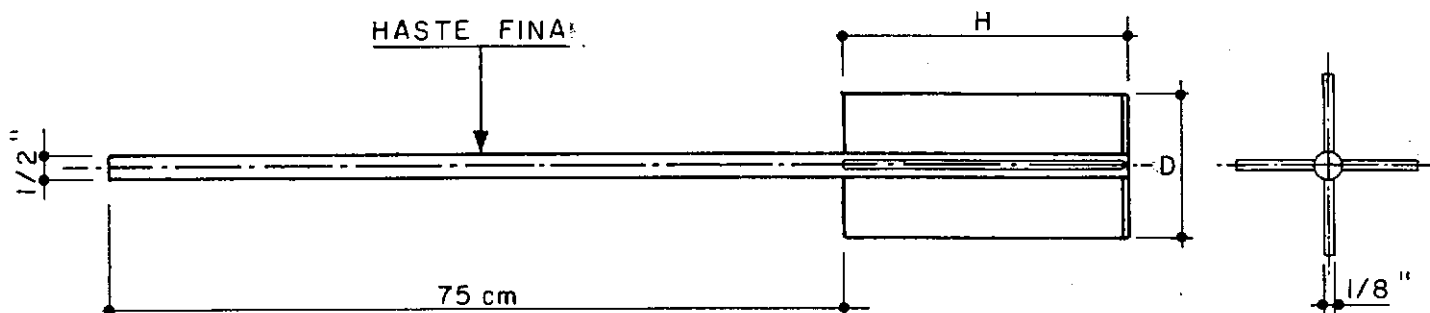
f) haste fina - haste com 15cm ou 75cm de comprimento (dependendo da palheta) e diâmetro de 1,27cm (meia polegada);

g) jogo de palhetas (apresentado na tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Palhetas Utilizadas nos Ensaio

Palheta Nº	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	H/D	K^{-3} (cm^{-3})
1	10,2(4")	5,1(2")	2	0,002080
2	5,1(2")	10,2(4")	1/2	0,00072979
3	20,4(8")	5,1(2")	4	0,001120
4	18,4(7 1/4")	9,2(3 5/8")	2	0,00034942
5	4,6(1 13/16")	9,2(3 5/8")	1/2	0,00097901
6	36,8(14 1/2")	9,2(3 5/8")	4	0,00018815

K - constante da palheta.



As palhetas números 1, 2 e 3 apresentam haste fina com 15cm de comprimento, enquanto as de números 4, 5 e 6 apresentam haste fina com 75cm de comprimento. Esta haste é fixada a um niple especial que é rosqueado no conjunto de haste de extensão, podendo-se então trocar a palheta quando necessário. Dispõe-se, também, de uma haste fina sem palheta utilizada para medição de parcela do esforço aplicado e absorvido por atritos diversos (haste cega);

- h) haste de seção quadrada, com cerca de 50cm de comprimento, que é rosqueada ao conjunto de hastes A na sua extremidade superior e que em contato com a mola transmite-lhe o torque. Esta haste dispõe também de alguns furos para ajuste de profundidade;
- i) dispositivo de atrito. Tal como a haste cega descrita em g, utilizado com a finalidade de medir torques devidos a atritos diversos. Com este dispositivo, pode-se girar o conjunto de hastes, sem girar a palheta cravada no solo;
- j) equipamento convencional, para abertura de furo, de sondagem, constando basicamente de tubos de revestimento ($D = 4''$ ou $D = 6''$), trados-concha, macacos para retirada do revestimento, etc.

Na figura 5.4 é mostrado o equipamento utilizado na presente pesquisa com suas várias peças componentes.

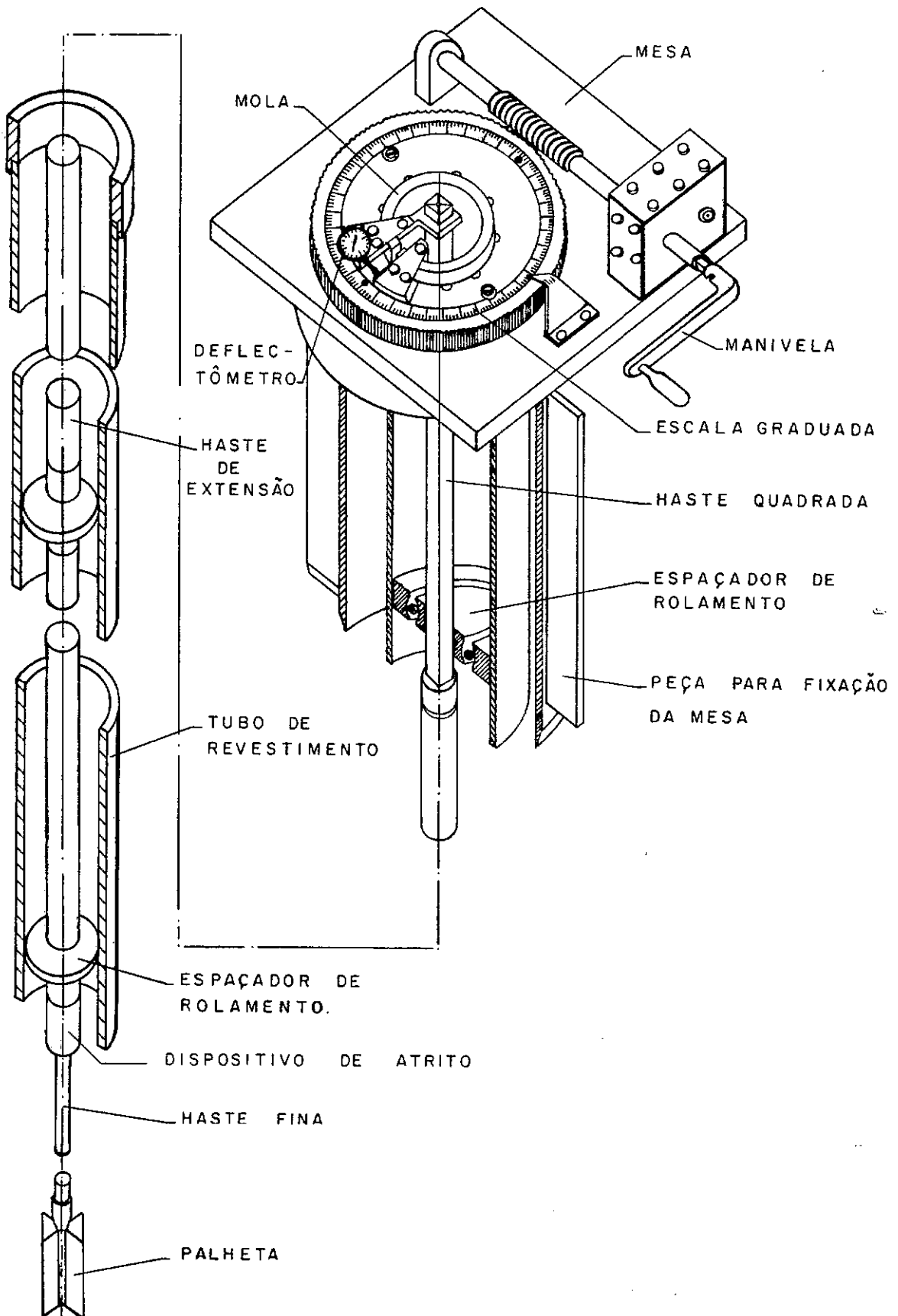


FIGURA 5-4 - COMPONENTES DO EQUIPAMENTO UTILIZADO NOS ENSAIOS.

5.3 - ROTINA DE ENSAIO

- a) cravação do tubo de revestimento o mais verticalmente possível (verificação com nível de bolha);
- b) abertura de furo com trado-concha até cerca de 75cm acima da cota onde será realizado o ensaio;
- c) descida do conjunto de hastes de extensão, tendo na extremidade inferior a palheta a ser utilizada e na superior a haste de seção quadrada, tomando-se o cuidado de sustentá-lo para que não haja cravação da palheta;
- d) colocação da peça de fixação da mesa;
- e) instalação da mesa e fixação da mesma à peça de fixação;
- f) cravação da palheta aproximadamente 75cm na argila mole, por movimento rápido e contínuo, controlando-se sua posição pela furação da haste quadrada;
- g) instalação do deflectômetro e da manivela para aplicação da rotação à palheta;
- h) ensaio com material indeformado - girando-se a palheta a uma velocidade de rotação de $6^{\circ}/\text{min.}$, sendo esta rotação aplicada no sentido de fechamento de anel. As leituras do deflectômetro são anotadas a cada 2° , até atingir 90° ou 120° (obtenção

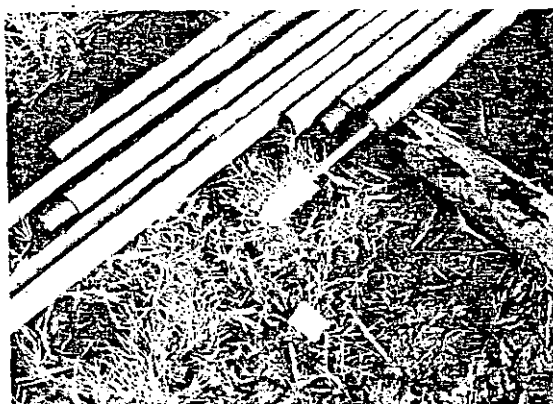


Figura 5.5A

Palheta nº1 e hastes de son-
dagem para ensaio
"Vane" de campo

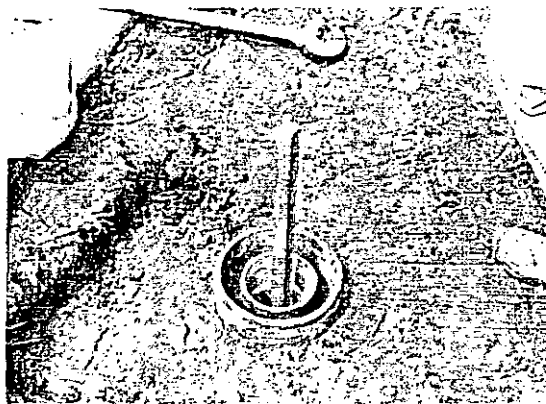


Figura 5.5B

Conjunto de hastes colocado
no furo, com haste quadrada
na extremidade superior

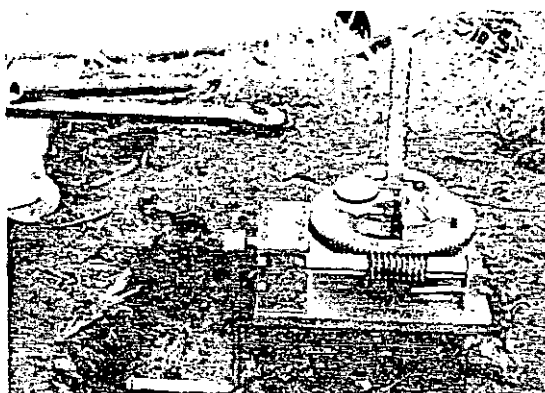


Figura 5.5C

Vista lateral da mesa do en-
saio de palheta

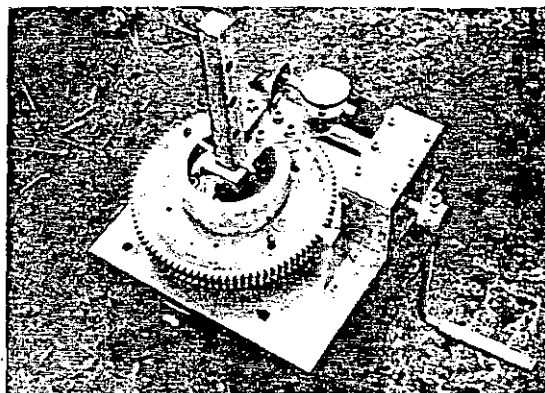


Figura 5.5D

Vista de cima da mesa do en-
saio de palheta



Figura 5.5E

Ensaio em execução

de deformação residual).

Este ensaio deverá fornecer, no ponto de torque máximo, a resistência ao cisalhamento não-drenada da argila considerada indeformada;

- i) rotação de aproximadamente 600° (até zerar o aparelho), com velocidade maior, no mesmo sentido que anteriormente.

Inicia-se então novo ensaio, com leituras até 30°. Este ensaio visa a obter a resistência ao cisalhamento com argila "amolgada". Conforme enfatizamos anteriormente, esta denominação não nos parece correta, sendo a resistência determinada aquela para grandes deformações;

- j) retirada do conjunto - Confere-se, pela marca deixada pela argila na haste, a profundidade de cravação da palheta, com a finalidade de se verificar possível levantamento de fundo;
- l) cravação de mais um metro de tubo de revestimento e repetição dos demais itens da rotina para ensaio à profundidade seguinte.

A rotina acima descrita (inclusive os componentes do equipamento empregado) foi a utilizada na maior parte dos ensaios definitivos executados nos três locais - a figura 5.5 apresenta fotografias das várias fases da rotina acima descrita.

No entanto, no decorrer de alguns ensaios experimentais e para determinação de valores de atrito, os mesmos sofre-

ram pequenas modificações. Abaixo são enumeradas algumas destas alterações:

- a) nos ensaios executados nos furos de nº 1 a 8 e no furo nº 16-a do Sarapuí, a rotação da palheta foi aplicada no sentido de abertura da mola;
- b) em alguns ensaios no Sarapuí foram abertos e revestidos furos, com trado e tubo de revestimento de 6 polegadas de diâmetro;
- c) as palhetas com haste fina (nº 1, 2 e 3) foram cravadas cerca de 50cm. Assim a haste A penetrava a proximadamente 35cm abaixo do fundo do furo;
- d) nos ensaios para determinação de atrito foi utilizado um conjunto de hastes de extensão sem a palheta na extremidade. Alguns desses ensaios foram executados, também, com o dispositivo de atrito, sendo neste caso realizado antes do ensaio com material indeformado. Em alguns casos foram executadas medições de torque devido a atritos, continuamente, até 720° de rotação.

5.4 - ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS

Para a análise do resultado de um ensaio de palheta quanto a sua confiabilidade, deve-se verificar não só o valor de resistência ao cisalhamento obtido (que deve ser da mesma ordem de grandeza do obtido em ensaios de laboratório), mas também a forma da curva torque ou deformação da mola, contra ângulo de rotação. Na figura 5.6 estão apresentadas curvas consideradas típicas para este tipo de material. A curva (1), apresentando perda de resistência após seu valor máximo, o que é função do tipo de material, corresponde ao ensaio indeformado. A curva (2) é típica para determinação da parcela de torque, devido a atritos diversos, enquanto que a curva (3) corresponde à determinação da resistência a grandes deformações (comumente chamado de ensaio "amolgado"). Recomenda-se o traçado sistemático destas curvas, como controle da qualidade do ensaio.

Adiante, serão comentadas as curvas obtidas nos diversos ensaios realizados.

A análise das curvas deformação da mola x rotação da palheta obtidas nos primeiros ensaios, realçou o funcionamento imperfeito do equipamento empregado, bem como mostrou a necessidade de serem procedidas modificações na rotina estipulada.

Tratou-se, então, de promover a eliminação de tais incorreções, acompanhar sistematicamente todos os ensaios realizados, observando cuidadosamente o funcionamento do aparelho, traçar as respectivas curvas logo após a realização dos ensaios, interpretando-a e tentando, através deste procedimento, descobrir as possíveis causas de erros.

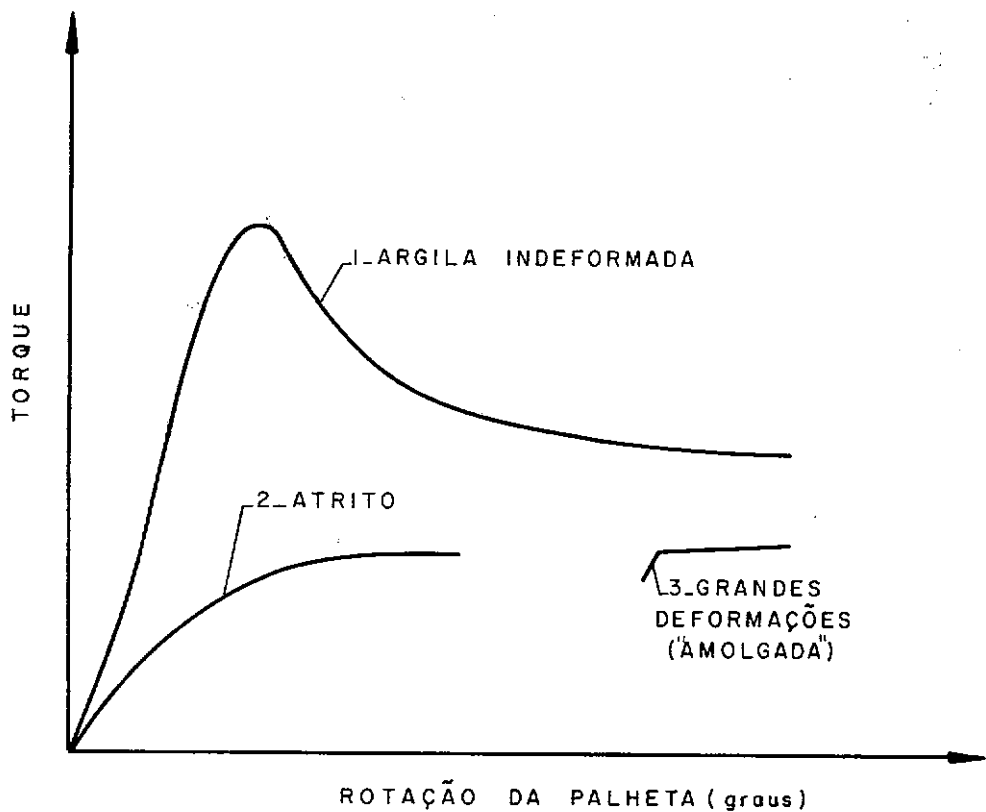


FIGURA 5.6- CURVAS TEÓRICAS TORQUE x ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS "VANE".

Pela importância de se comentar o trabalho desenvolvido nesta etapa da pesquisa, apresenta-se abaixo uma análise do mesmo. Para tanto, os furos executados nos três locais foram divididos em cinco grupos distintos. Cada grupo possui certas características comuns, de acordo com a rotina empregada, e com as modificações procedidas no equipamento.

1º grupo - ensaios realizados nos furos 1 a 8 no Sarapuí.

2º grupo - ensaios realizados nos furos 9 a 16 no Sarapuí

3º grupo - ensaios realizados nos furos 17 a 27 no Sarapuí

4º grupo - ensaios realizados nos furos 28 a 41 no Sarapuí;

5º grupo - ensaios realizados em Alcântara e em Magé.

5.4.1 - ANÁLISE DO 1º GRUPO DE ENSAIOS (Furos Números 1 a 8 no SARAPUÍ)

Esta série de ensaios foi realizada entre 16/05/75 e 08/07/75, tendo como características principais:

- utilização do anel nº 1 ($K=0,950 \text{ kg cm}/10^{-4} \text{ pol.}$)
- utilização das palhetas nºs 1 e 3
- rotação da palheta no sentido de abertura da mola.

Obteve-se para um razoável número de ensaios a profundidade menores que 6m, curvas com aspecto semelhante à nº 1

da figura 5.6, com torque máximo correspondente a uma rotação de cerca de 10° , chegando-se a atingir uma estabilização após a perda de resistência. Para profundidades maiores, as curvas já se tornaram menos coerentes. Para pequenas profundidades, no entanto, na faixa de 30° a 60° de rotação, foi observado um ligeiro acréscimo nos valores de torque, formando uma curvatura na parte decrescente da curva. Estas características estão indicadas nas curvas apresentadas na figura 5.7.

Os valores de resistência ao cisalhamento obtidos, alguns bastante elevados em relação ao que seria de se esperar, principalmente para profundidades maiores, não variam também consistentemente com a profundidade.

No furo nº 5 foram realizados somente ensaios para determinação do atrito, tendo sido observadas as mesmas incoerências verificadas nos ensaios com palheta, aumentando ainda mais a incerteza na determinação de resistência não drenada.

Feita uma análise acurada dos resultados obtidos, procedeu-se a algumas modificações na aparelhagem, tendo-se então mandado confeccionar o anel nº 2 e adquirido novo deflectômetro, (ambos mais sensíveis) e modificado o sistema de suporte do mesmo, para melhorar a qualidade das leituras. Entretanto, ao se substituir o anel por outro mais sensível e de menor espessura, foi necessária a introdução de algumas cunhas para fixá-lo à mesa de execução de ensaios.

Nesta fase, foi testado também o dispositivo de atrito anteriormente mencionado, trabalhando acoplado à extremidade

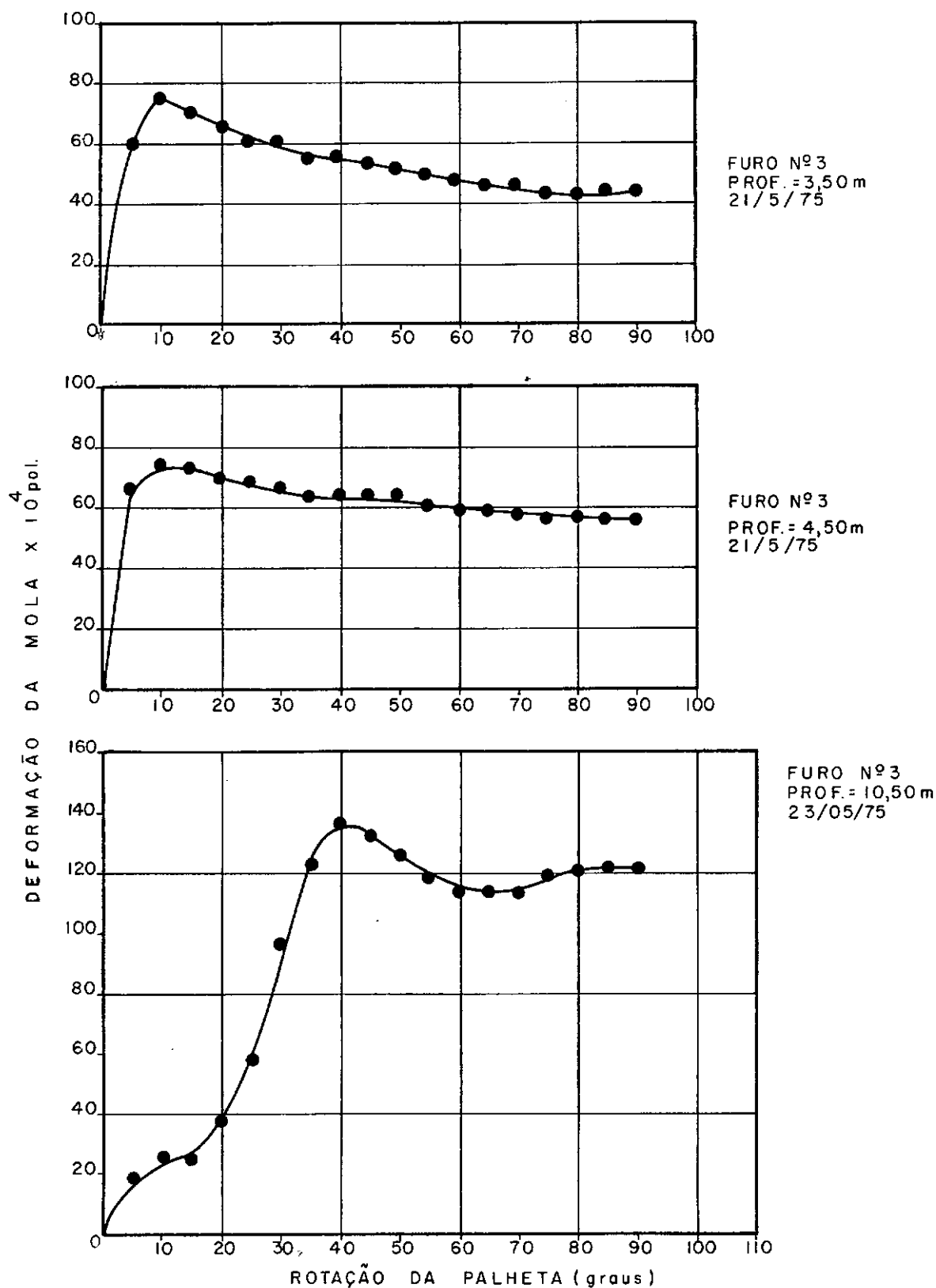


FIGURA 5.7- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA x
ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA.
LOCAL: SARAPUÍ

inferior do conjunto de hastes. Entretanto, devido à fricção no próprio dispositivo, ao se aplicar a rotação ao conjunto de hastes, a palheta também se movimentava, dada à baixa resistência da argila, invalidando, portanto, as medidas efetuadas. A partir daí, foi suspensa a sua utilização, realizando-se ensaios de determinação do atrito e usando-se o conjunto de hastes sem a palheta na extremidade.

Concomitantemente ao trabalho de campo, passou-se então a estudar algumas modificações no citado dispositivo, com a finalidade de melhorar seu funcionamento.

5.4.2 - ANÁLISE DO 2º GRUPO DE ENSAIOS (FURO Nº 9 A 16 DO SARAPUÍ)

Esta série de ensaios (8/10/75 a 17/11/75), apresentou as seguintes características:

- Utilização do anel nº 2 ($K=0,592 \text{ kg cm}/10^{-4} \text{ pol.}$)
- Utilização da palheta nº 1
- Sentido de rotação aplicado, ~~onde fechamento da mola.~~

Este grupo de ensaios apresentou os piores resultados no que diz respeito à forma das curvas obtidas. A sua análise mostra algumas curvas com torque máximo acima de 40° de rotação, outras com 2 ramos ascendentes (isto é, após a passagem do pico a curva volta a subir) e outras ainda sem apresentar torque máximo, com leituras crescentes. Tais tendências foram observadas também para ensaios de atrito e, pior ainda, chegando a indicar valores de torque superiores, para uma mesma profundidade,

aos obtidos em ensaios com a palheta. Algumas curvas obtidas estão apresentadas nas figuras 5.8 e 5.9 exemplificando as características acima mencionadas. Em alguns ensaios, foram anotadas leituras negativas no deflectômetro (embora que a rotação aplicada fosse no sentido de fechamento do anel, o mesmo estava abrindo). Suspeitando ocorrer movimento relativo entre o anel e o seu sistema de fixação, providenciou-se a sua fixação através de pequenos orifícios nas extremidades, não se obtendo sucesso com esta providência.

Os valores de resistência ao cisalhamento que puderam ser calculados foram também bastante grandes, acima do que se esperava, indicando incertezas quanto a esta série de ensaios.

Na ocasião, listou-se como possíveis causas das irregularidades observadas, o seguinte:

- a) ocorrência de atrito considerável entre o conjunto de hastes e o revestimento, ou mesmo entre os espaçadores e o revestimento;
- b) existência de hastes empenadas, de tal forma que o movimento de rotação aplicado gerava uma translação, desenvolvendo na argila uma superfície não cilíndrica de ruptura e conseqüentemente uma área maior de solo mobilizada. Este fato foi constatado ao se realizar a seguinte experiência: após a execução de um ensaio com resultado ruim, tentou-se rodar a palheta manualmente (sem a mesa), mantendo o conjunto de hastes centrado em relação ao revestimento. Notou-se que, com a rotação, o conjunto

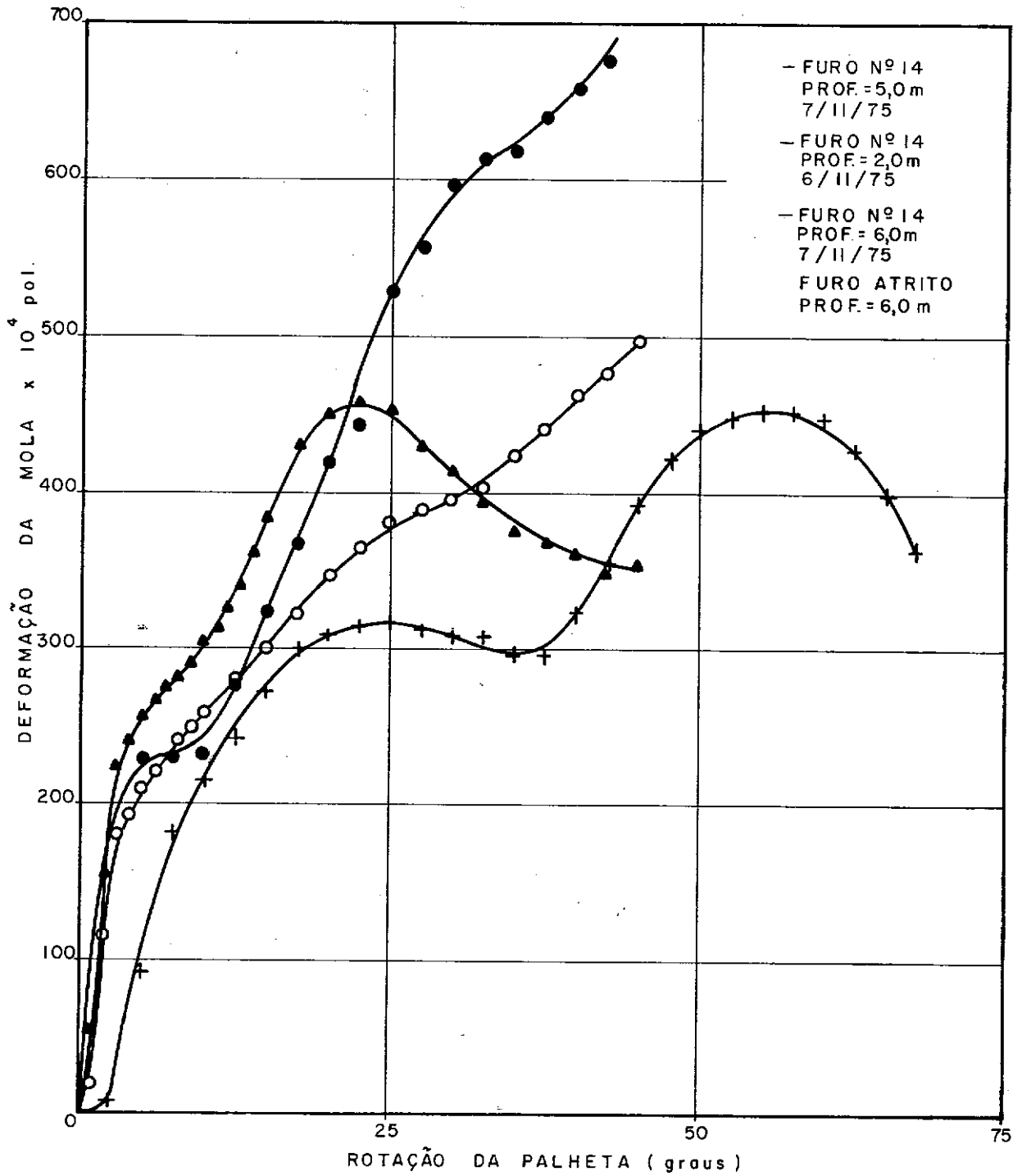


FIGURA 5-8- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA
 LOCAL: SARAPUI

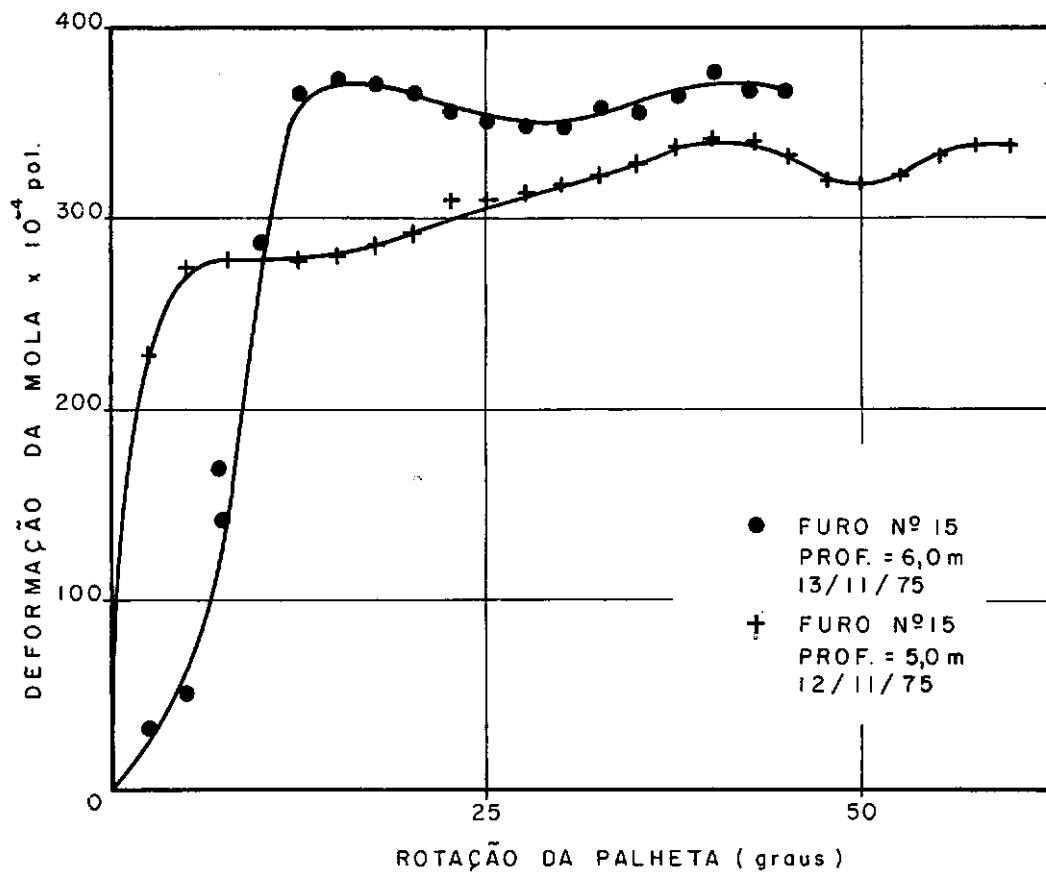


FIGURA 5.9- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA x ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA.
LOCAL: SARAPUÍ

tendia a descentrar-se, o que seria devido a algum empeno no conjunto de hastes;

- c) problemas relacionados com o anel nº 2 utilizado nestes ensaios, tais como a têmpera do aço, dispositivo de fixação, etc.;
- d) as dimensões da palheta nº 1, talvez sejam pequenas para a consistência da argila ensaiada. A chapa com que foi confeccionada é relativamente espessa, embora a relação entre a área ocupada pelas palhetas e a área total da seção reta do cilindro esteja dentro do especificado para que se tenha resultados confiáveis (Flaate, 1966);
- e) a haste fina de 1,2 x 7cm(1/2 pol.), que se encaixa no conjunto de hastes A, tem comprimento de apenas 15cm acarretando que, ao se cravar a palheta 50cm a partir do fundo do furo, um trecho (35cm aproximadamente) de haste de extensão A de diâmetro externo quase igual ao da palheta fosse também introduzido no terreno, ficando relativamente próximo a ela, possibilitando assim amolgamento na massa argilosa a ser cisalhada;
- f) não-verticalidade do tubo de revestimento, bem como possível perturbação da argila durante a sua cravação (hipótese pouco provável).

No furo 16a foram realizados ensaios invertendo o sentido de rotação da palheta (abrindo-se a mola), sem que os resultados apresentassem qualquer melhoria. Adotou-se também as

seguintes providências no que diz respeito a aparelhagem, procurando melhorar a qualidade dos ensaios.

- voltar a utilizar o anel nº 1, empregado no primeiro grupo de ensaios, com melhores resultados;
- utilizar a palheta nº 2 e consequentemente revestimento de 15,2cm (6 pol.) de diâmetro;
- vistoriar cuidadosamente o conjunto de hastes eliminando aquelas que indicavam empenos ou entortamentos visíveis. O sistema foi montado na mesa de calibração, tendo sido realizados ensaios a pequenas profundidades. Na oportunidade constatou-se que várias hastes estavam tortas, sendo refugadas.

5.4.3 - ANÁLISE DO 3º GRUPO DE ENSAIOS (FURO Nº 17 A 27 DO SARAPUÍ - 24/11/75 A 23/12/75)

Este grupo de ensaios apresentou as seguintes características principais:

- utilização do anel nº 1;
- rotação da palheta no sentido de fechamento do anel;
- cuidados especiais durante a cravação do tubo (verticalidade verificada com nível de bolha);
- utilização do conjunto de hastes de extensão na mesma posição relativa - numeração do conjunto.

Nos furos nºs 17 e 18 utilizou-se ainda a palheta nº 1, obtendo-se algumas curvas razoáveis, alcançando-se um torque máximo para angulo de rotação da ordem de 10^0 , enquanto que ou-

tras curvas, apesar de apresentarem comportamento satisfatório, indicaram ângulos bem maiores, correspondentes ao valor máximo de torque. Notou-se, entretanto, para estas curvas uma tendência a obtenção da resistência máxima por volta de 10° de rotação, seguindo-se um novo aumento até que outro torque máximo é atingido acima de 50° . Na figura 5.10 estão apresentados algumas destas curvas. Nos ensaios de atrito o comportamento foi em tudo semelhante ao descrito anteriormente.

Os valores de resistência ao cisalhamento foram também grandes, sendo esta a única diferença entre estes ensaios e os do 1º grupo, que apresentaram curvas semelhantes, o que seria de se esperar tendo em vista que as características dos ensaios foram as mesmas.

Testou-se, então, a palheta nº 3 (H= 20,3cm, D= 5,1cm) com a qual, também, não foram obtidos bons resultados.

Realizou-se então uma série de ensaios (furos 19 a 22) com a palheta nº 2 (H= 5,1cm, D= 10,2cm), usando-se revestimento de 15,2cm (6 pol.) de diâmetro e hastes A numeradas, conforme mencionado anteriormente. As curvas obtidas foram bastante boas, superiores a de todos os ensaios até então realizados, com torque máximo entre 6° e 10° de rotação e perda de resistência subsequentemente, conforme indicado na figura 5.11. Os valores de resistência não drenada obtidos foram também bastante razoáveis. Estes ensaios foram, depois, considerados como definitivos.

Tendo em vista o sucesso obtido com a utilização de palheta de 10,2cm de diâmetro e levando em consideração o recomendado pelo "Standard Method for Field Vane Shear Test in

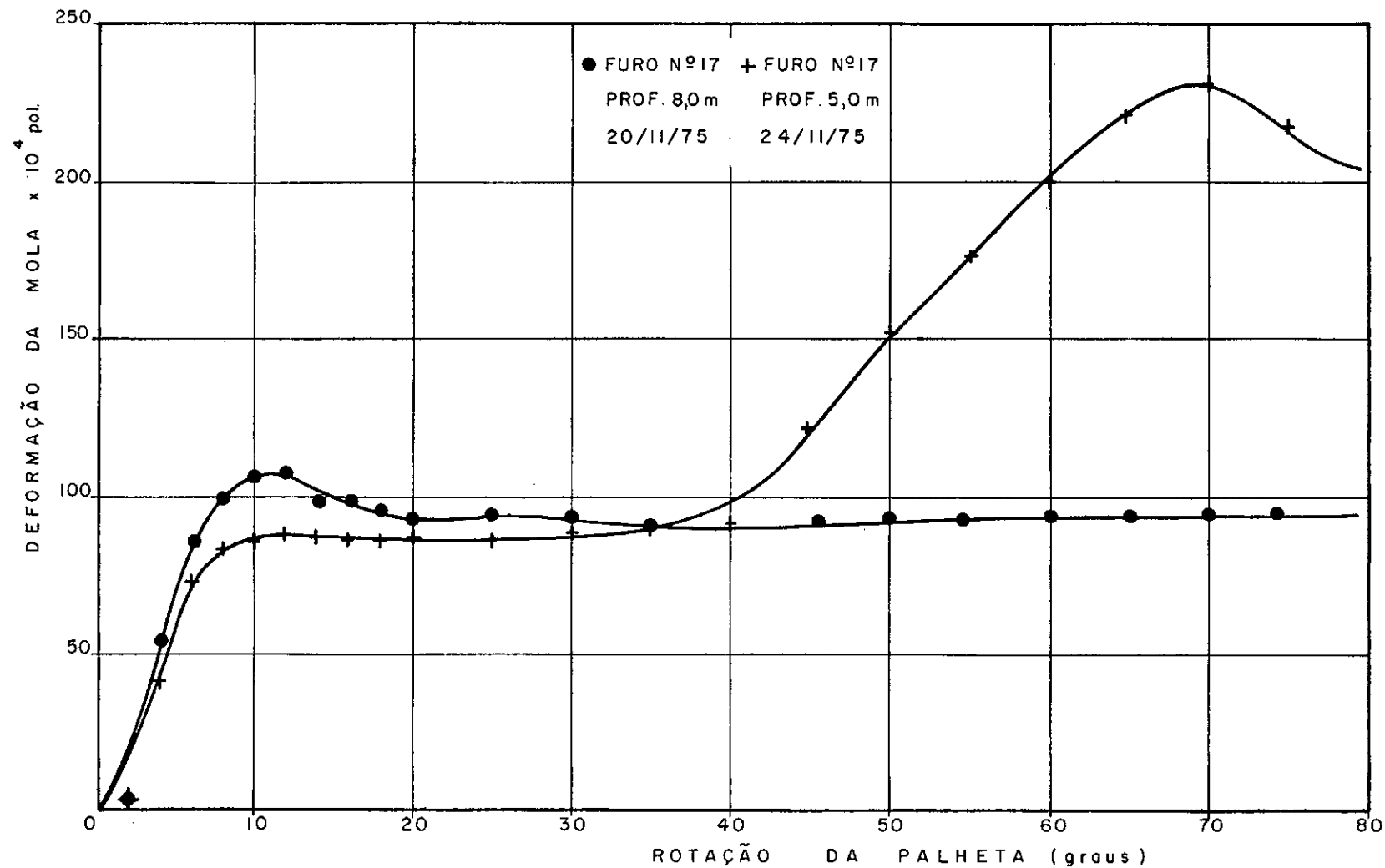


FIGURA 5-10- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA x ÂNGULO DE ROTAÇÃO
 DA PALHETA.
 LOCAL: SARAPUÍ

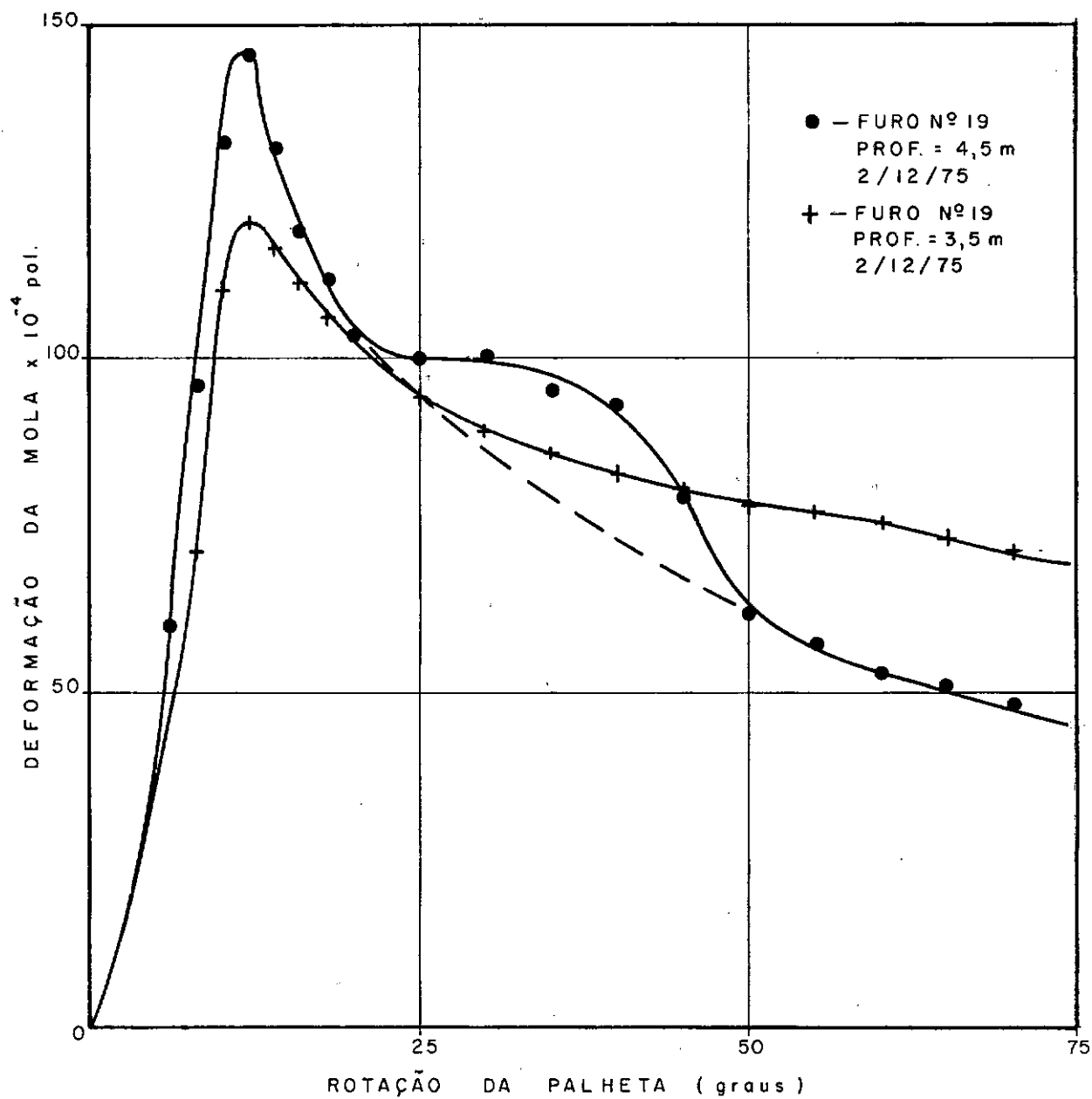


FIGURA 5-II- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA
LOCAL: SARAPUI

Cohesive Soil - Designation: D 2573-72 - ASTM", tomou-se como inadequada para a consistência de argila ensaiada a utilização de palheta com 5,1cm de diâmetro.

Assim, resolveu-se confeccionar as palhetas nºs 4^ª, 5^ª e 6, com diâmetro de 10,2cm e com hastes finas de 75cm de comprimento.

Nos ensaios realizados nos furos nºs 24 e 26 com palheta de dimensões H= 18,4cm e D= 9,2cm, as curvas obtidas figura 5.9 foram bastante boas, apresentando valores de resistência ao cisalhamento razoáveis, fazendo com que também os considerássemos definitivos, bem como todos os demais executados posteriormente, com exceção de alguns poucos para determinação de atrito.

Em várias curvas, no entanto, observamos um acréscimo de torque nas vizinhanças do ângulo de rotação de 50°, conforme mostrado na figura 5.12, Furo nº 22.

5.4.4 - ANÁLISE DO 4º GRUPO DE ENSAIOS (FURO Nº 28 A 41 DO SARAPUÍ DE 13/01/76 a 27/02/76)

As características principais, são as seguintes:

- as mesmas constantes do 3º grupo de ensaios, mais a utilização das palhetas nºs 4, 5 e 6.

Os ensaios realizados a partir do furo nº 28 apresentaram curvas "deformação de mola x ângulo de rotação" de boa qualidade, assim como as resistências calculadas apresentaram valores dentro do esperado. Em algumas curvas obtidas nestes ensaios, foi obtido um torque máximo para um determinado ângulo

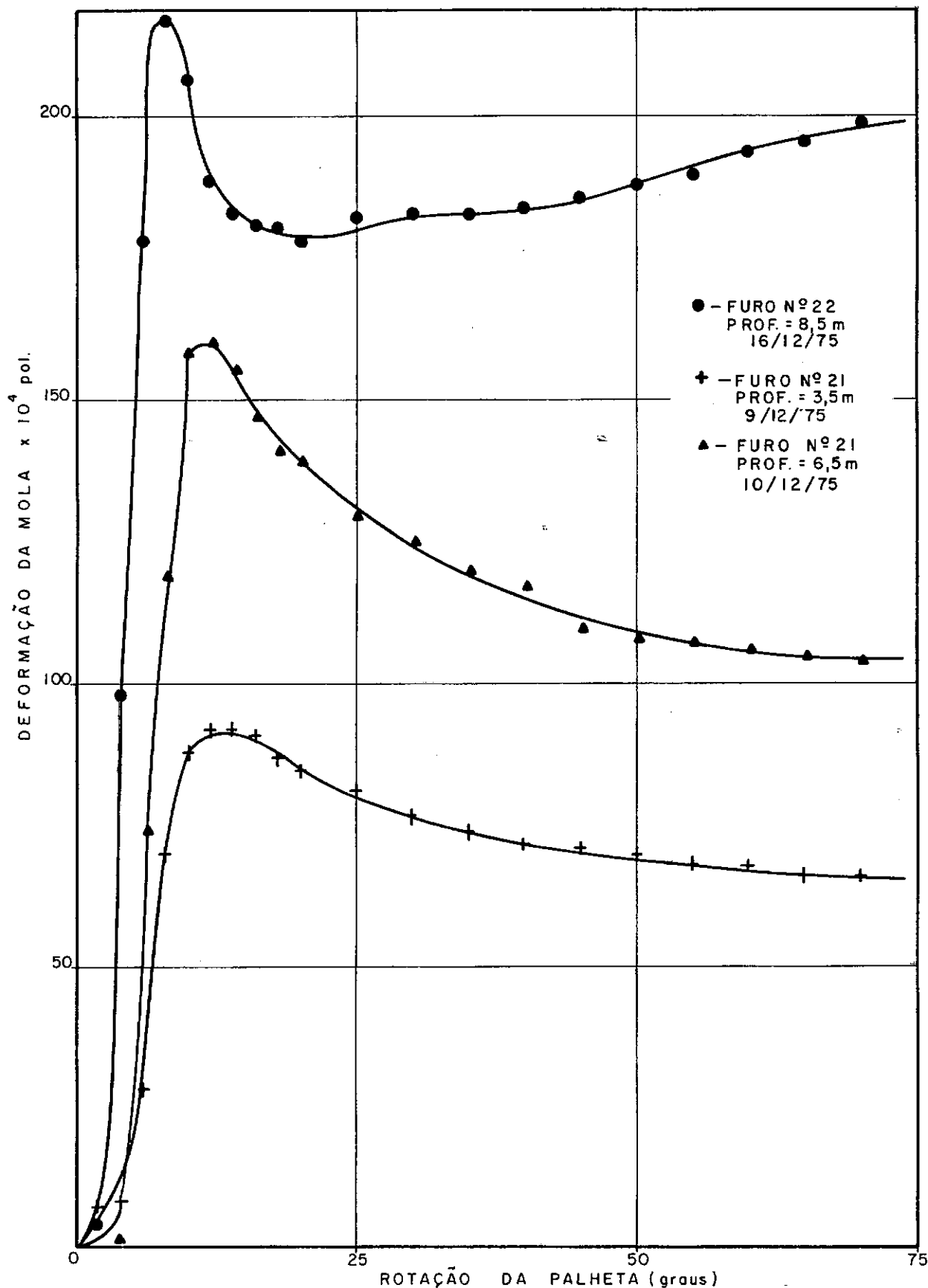


FIGURA 5-12 - CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA.
 LOCAL: SARAPUI

e, a partir daí, houve uma tendência a obtenção de valor constante. Em outras curvas, porém, após o valor de torque máximo e para um ângulo próximo de 40° , os valores ou cresciam novamente até o fim do ensaio ou cresciam e depois decresciam, tendendo para um torque residual constante.

Devido aos problemas, ainda, constatados foram feitas as seguintes modificações:

- a) deslocamento do "zero" do aparelho para uma região da engrenagem de torque que nos pareceu mais apropriada;
- b) alargamento do furo central na mesa do aparelho, pois constatou-se que a haste quadrada estava raspando nas paredes deste furo;
- c) confecção de nova haste quadrada com aço de melhor qualidade, pois a até então utilizada apresentava-se já levemente entortada;
- d) garantia de perfeita centragem da haste quadrada em relação ao furo central da mesa pela colocação de um rolamento e pelo melhor posicionamento da peça de transmissão do torque ao conjunto de hastes.

Estas modificações foram executadas antes de serem iniciados os serviços em Alcântara.

5.4.5 - ANÁLISE DO 5º GRUPO DE ENSAIOS (ENSAIOS REALIZADOS EM ALCÂNTARA E MAGÊ DE 22/03/76 A 13/07/76)

Principais características:

- as mesmas do grupo de ensaios nº 4.

Em sua totalidade, os ensaios realizados nesses locais foram considerados definitivos.

5.4.6 - COMENTÁRIOS SOBRE OS PROBLEMAS APRESENTADOS PELO EQUIPAMENTO

A apreciação do número de ensaios definitivos para o número total (cerca de 41%), mostra bem as dificuldades encontradas, no sentido de se conseguir resultados satisfatórios utilizando-se equipamento e rotina descritos anteriormente.

São resumidas abaixo, seguidas de breves comentários, as possíveis causas das incorreções verificadas:

a) dimensões da palheta -

Julga-se ser insuficiente o diâmetro de 5,1cm das palhetas nºs 1 e 3, tendo em vista a baixa consistência das argilas ensaiadas e os atritos entre diversas partes componentes do aparelho.

- b) o comprimento de 15cm da haste fina é também insuficiente, pois a palheta de 5,1cm de diâmetro fica muito próxima da parte inferior da haste A, que como já dissemos penetra aproximadamente 35cm abaixo do fundo do furo.

Por outro lado, nota-se que as curvas torque x ângulo de rotação obtidas de ensaios com hastes finas de 75cm de comprimento, apresentam na sua maioria um trecho inicial variável de 3° a 25° , quase paralelo ao eixo das abcissas, indicando um ajustamento em qualquer uma das ligações entre as hastes, ou mesmo uma deformação inicial exagerada da haste fina.

Nos ensaios no Sarapuí, com haste fina de 15cm, este trecho é bem menor ou mesmo não existe.

- c) existência de hastes A empenadas de tal forma que o eixo das palhetas estariam sendo submetidas também a um movimento de rotação em torno do eixo imaginário (fixo). Isto foi devidamente comprovado com a utilização de ensaios a pouca profundidade, utilizando-se a mesa de calibração;
- d) posição relativa do conjunto tubo de revestimento - hastes A, podendo variar de furo para furo e até mesmo de ensaio para ensaio num mesmo furo. Isto acarreta, certamente, valores variáveis de esforços devido a atritos entre as diversas partes do equipamento empregado;
- e) ensaios realizados girando-se o aparelho de 720° , mostraram um posicionamento relativo entre a engrenagem de torque e o "sem fim" de acionamento, pelo qual o torque aumentava ou diminuía sistematicamente para a mesma região de leituras no aparelho. Como solução procedeu-se a um deslocamento do "ze-

ro" do aparelho, de tal maneira a ensaiar-se sempre em região onde não fossem constatadas tais irregularidades, (figura 5.13).

Embora carecendo de confirmação experimental mais positiva, pode-se aceitar a hipótese de que a concordância dessas curvas se apresente apenas para um mesmo furo. É de se esperar, no entanto, que utilizando-se as palhetas de maior diâmetro tais irregularidades interfiram menos nos valores de torque máximo;

- f) também com auxílio de mesa de calibração, constatou-se que a haste quadrada atritava com o aparelho, nas paredes do furo central. Providenciou-se a colocação de um rolamento espaçador, bem como o alargamento do referido furo;
- g) a haste quadrada empenada fazia um esforço sobre a mola, causando no deflectômetro leituras que nada tinham a ver com a resistência da argila ensaiada;
- h) ensaios posteriores efetuados com a mola em forma de anel nº 2, indicaram que os valores obtidos de resistência não drenada, eram provenientes de uma constante de mola empregada nos cálculos, tomada com valor muito grande ($K = 0,590 \text{ kgcm}/10^{-4} \text{ pol}$) valor este indicado pelo laboratório do IPT.

A recalibração efetuada no laboratório da DPq forneceu uma constante de mola ($K = 0,310 \text{ kgcm}/10^{-4} \text{ pol}$), que empregada nos cálculos propiciou valores de S_u

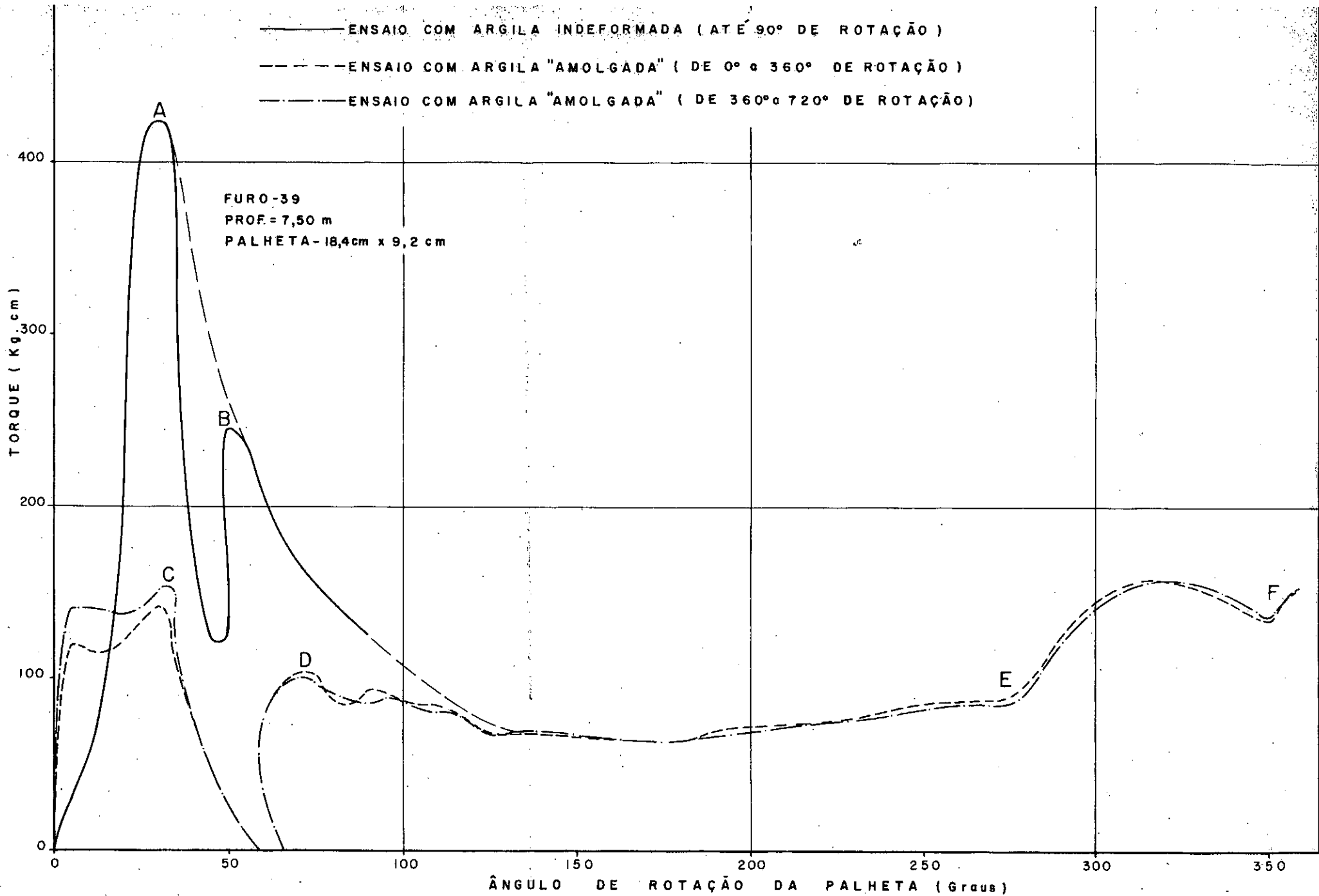


FIGURA 5-13 - VARIAÇÃO DO TORQUE COM O ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS COM ARGILA INDEFORMADA E "AMOLGADA" LOCAL - SARAPUI

dentro da faixa obtida por Ensaaios de Palheta com a mola nº 1 (mola de maior espessura) e mesmo por Ensaaios UU de laboratório.

5.5 - DETERMINAÇÃO DA PARCELA DE ATRITO

Conforme indicação do "Standard Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil" - Designation: D 2573-72 da ASTM foram realizados nos três locais, furos para determinação da parcela de atrito, a ser descontada do torque total utilizado no cálculo do S_u .

Segundo o "Earth Manual" - Implace Vane Shear Test - Designation: E 20, uma curva torque x ângulo de rotação de ensaio de atrito, deve apresentar configuração idêntica à curva (2) na figura 5.6.

Foram executados 12 (doze) furos num total de 77 ensaios, para determinação da parcela de atrito, nos três locais.

Na maioria dos 77 ensaios realizados, no entanto, não obtivemos curvas conforme indicação na figura 5.6. Apenas em 30 determinações, as curvas aproximaram-se deste aspecto. Os ensaios foram executados no campo das seguintes maneiras:

- a) através do emprego de haste "cega" (haste sem palheta), inserida no solo;
- b) através de dispositivo de atrito, que permitia certa rotação inicial da haste sem arrastar consigo a palheta;
- c) apenas com o conjunto de haste A pendurado, sem cra

vação de nenhum elemento na argila mole;

- d) com utilização da mesa de calibração e pequenos comprimentos suspensos de revestimento e de haste (aproximadamente 1,5m), sem palheta e sem cravação no solo e com uso de pesos pendurados à haste para simular a existência de maiores comprimentos de haste.

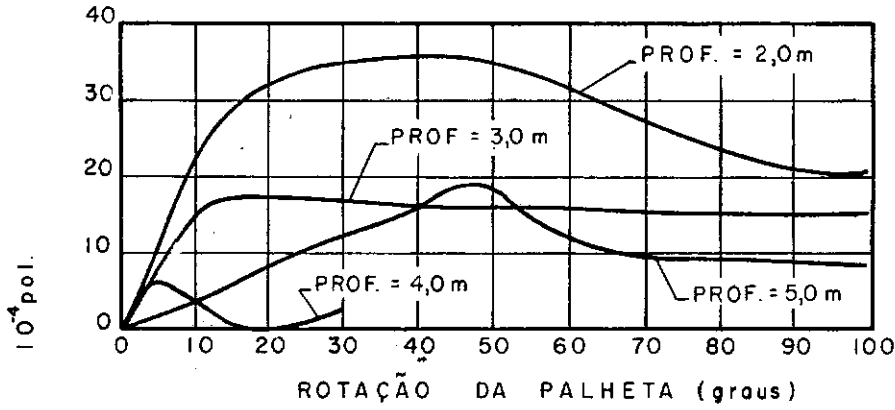
Nas figuras 5.14 a 5.16 são mostradas diversas curvas provenientes de ensaios de atrito.

Do estudo pormenorizado das curvas obtidas pode-se observar:

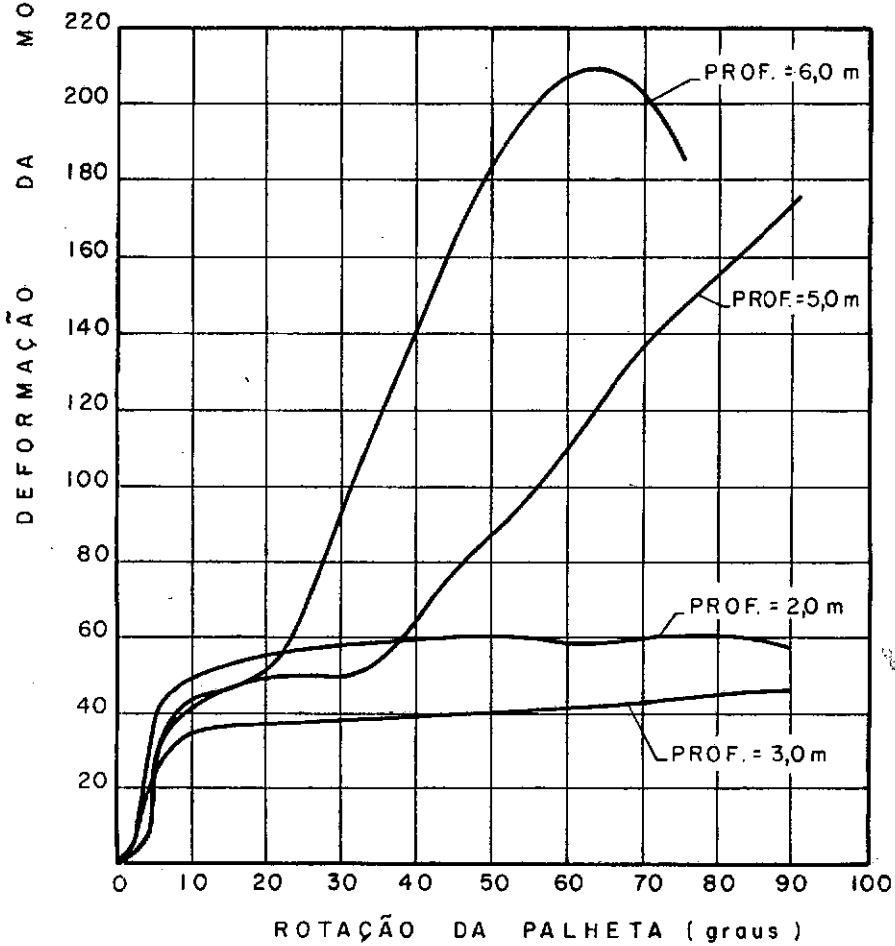
- Para um determinado furo não se nota em geral a tendência à obtenção de valores de atrito crescentes com a profundidade (com exceção dos ensaios com dispositivo de atrito);
- A imposição de esforços horizontais deslocando a haste em direção ao revestimento resultavam em acentuada elevação do torque medido;
- Valores relativos a mesmos ângulos nos diversos ensaios apresentam uma faixa de variação muito grande e crescente com o valor deste ângulo;
- Valores negativos de atrito, ocorrem sempre, para um mesmo furo dentro de uma mesma faixa de leitura.

A principal causa destas discrepâncias na determinação do atrito, parece ser o posicionamento relativo entre o tubo de revestimento, haste de extensão A e espaçadores empregados.

Caso não houvesse grande variação no atrito entre es-



FURO Nº 39
SARAPUÍ
ENSAIO COM
DISPOSITIVO
DE ATRITO



FURO Nº 18
SARAPUÍ
ENSAIO COM
HASTE CEGA

FIGURA 5.14 - CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLDA x ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS DE ATRITO

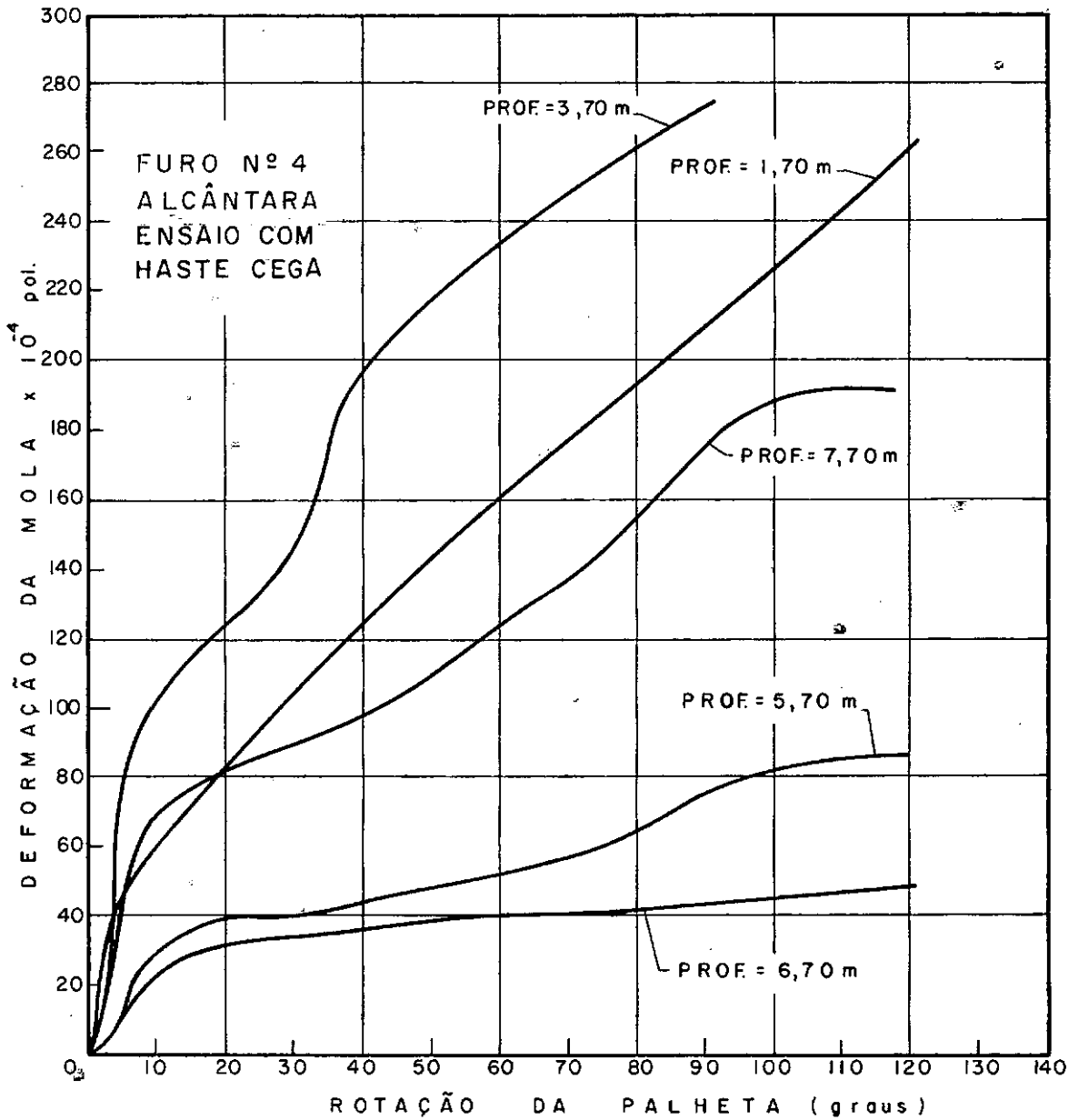


FIGURA 5-15 - CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS DE ATRITO.

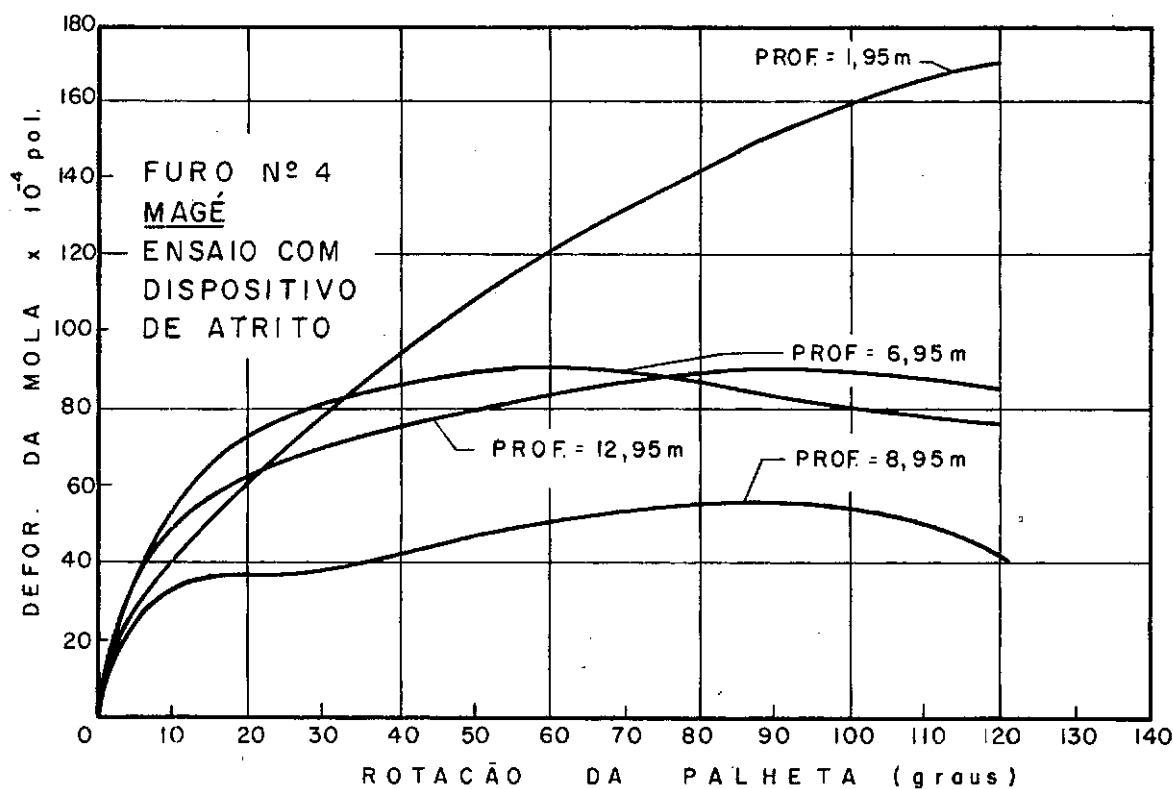


FIGURA 5-16- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA EM ENSAIOS DE ATRITO.

tes componentes, ter-se-ia, certamente, curvas tais como a apresentada na figura 5.6.

No entanto, isto, não ocorre neste sistema de medidas. Não há garantia de perfeita verticalidade do tubo de revestimento, nem de direcionamento único do conjunto de hastes, originando pontos variáveis de contato entre os diferentes componentes. Esta hipótese explica a larga faixa de variação de atritos medidos, principalmente utilizando-se os métodos de haste "cega" e o conjunto de hastes de extensão sem cravação na argila mole.

Ensaaios com a mesa de calibração mostraram que os valores medidos são tanto maiores quanto maior é o esforço da haste contra o revestimento, através dos vários pontos de contato.

Bennett e Mechán (1953) realizando medições de atrito de maneira semelhante (apenas com o conjunto de hastes sem a palheta na ponta), encontraram, também, grande dispersão nos resultados, para cada profundidade ensaiada. A possibilidade de desvio lateral e consequente atrito do conjunto com a parte interior do revestimento, são aventados como responsáveis pelos atritos medidos.

Esta mesma indicação em três ensaios, apenas é fornecida por Schlessinger (1949).

Os valores de torques máximos de 60 dos 77 ensaios de atrito executados e que foram julgados como representativos de medida destes atritos (sem apresentarem trechos de curvas, ângulo de rotação x torques negativos por exemplo), estão apresentados na figura 5.17. Conforme será verificado no capítulo 6, a dispersão de valores medidos é muito maior nos ensaios de atrito, que nos ensaios para determinação de resistência não drenada.

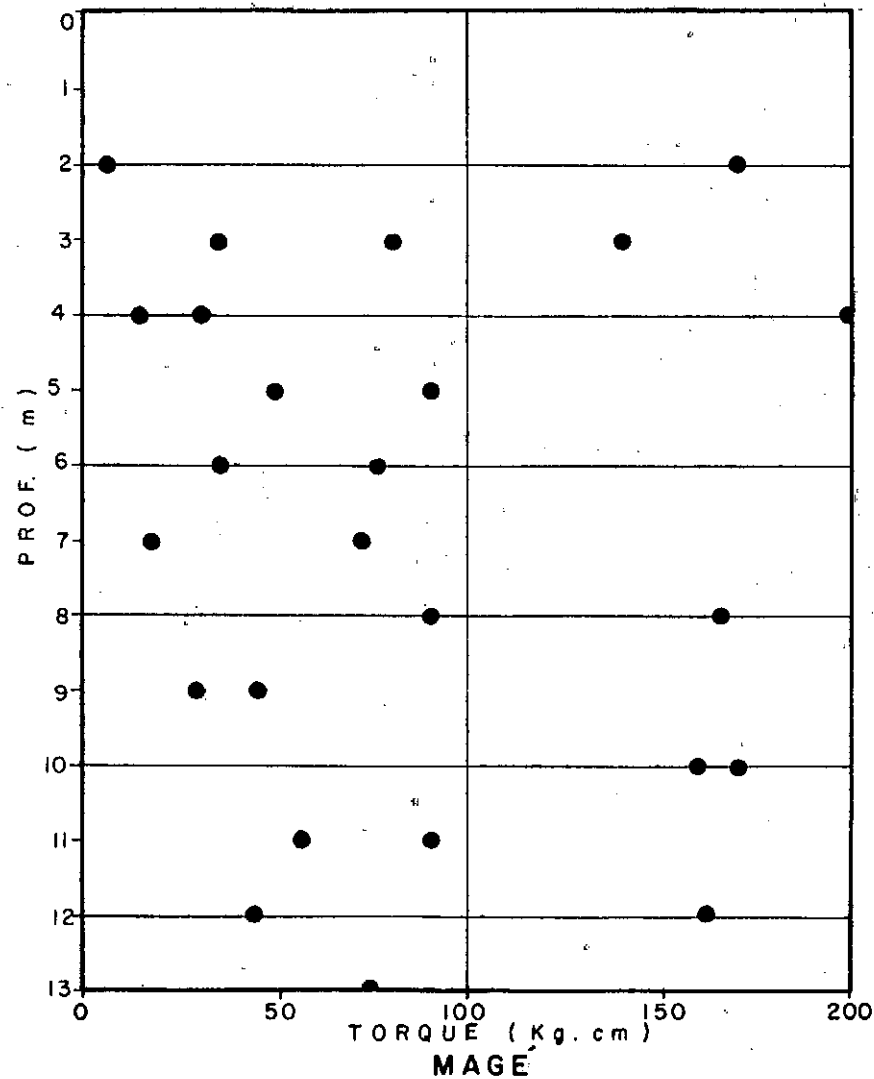
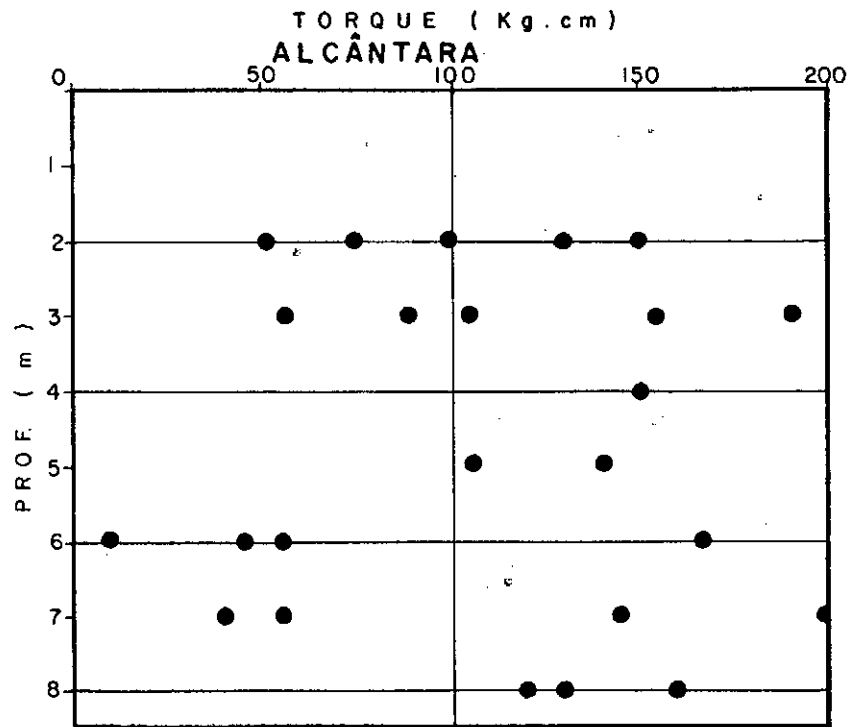
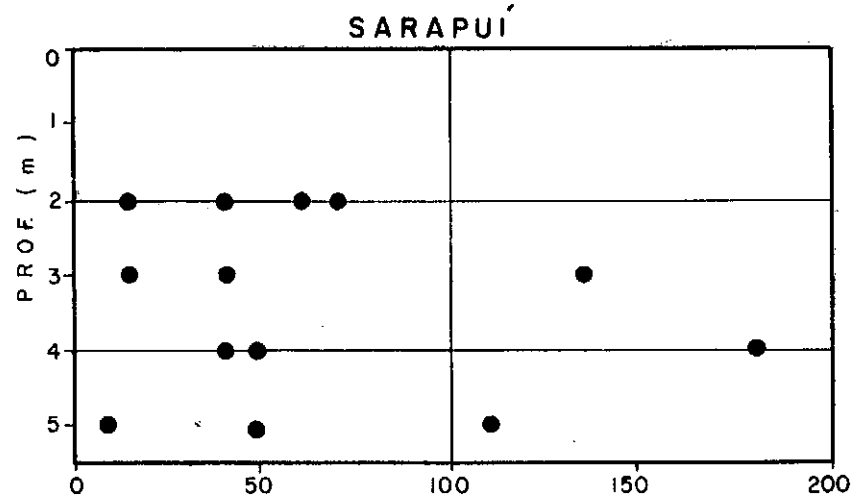


FIGURA 5-17- TORQUES MÁXIMOS EM ENSAIOS DE ATRITO x PROFUNDIDADE

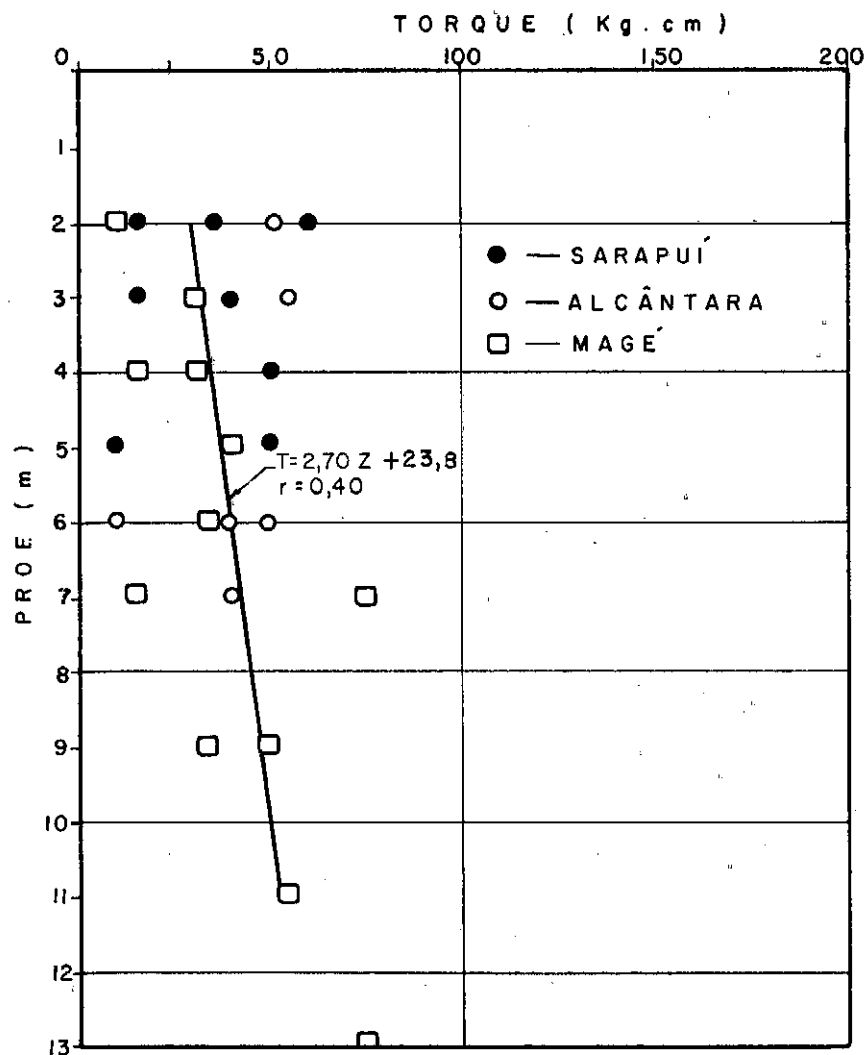
Esta constatação leva à suspeição de que a dispersão devida ao atrito seja bem menor quando da realização de ensaios com palheta cravada para determinação de S_u .

Aldrich (1953) na discussão do artigo de Bennett e Mecham (1953) comenta, também, a possibilidade de que o comportamento, quanto ao atrito no aparelho, difere para os casos de ensaios com palheta cravada e ensaios com haste cega. Para este autor os atritos seriam maiores no caso de palheta cravada, pois nestas circunstâncias há maior possibilidade de encurvamento da haste durante a cravação, o que aumenta a parcela de atrito incluída no torque medido.

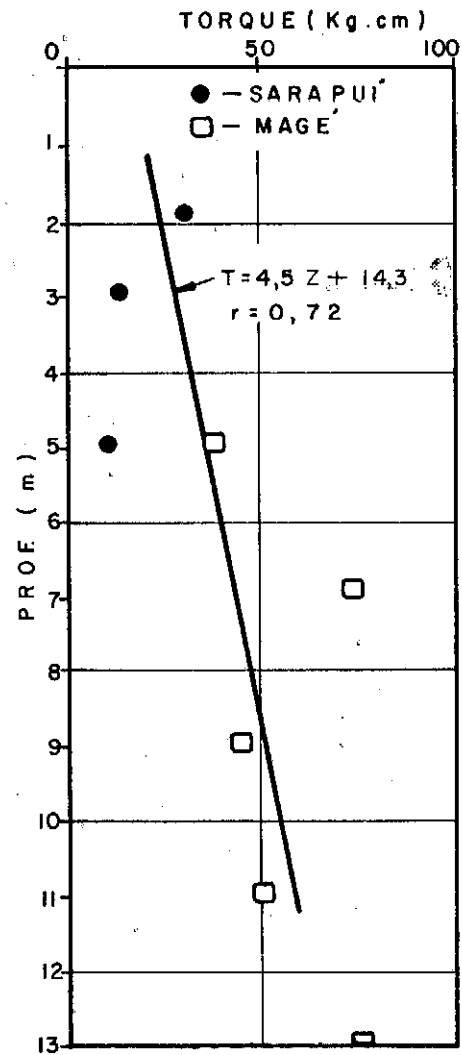
O tipo de ensaio mais condizente com as hipóteses acima formuladas, seria aquele em que se utiliza o dispositivo de atrito, porque reproduziria a condição de palheta cravada.

A fixação dos valores de atrito a serem descontados dos torques em ensaios com palheta, baseou-se na escolha, dentro do conjunto de curvas torque x ângulo de rotação, daquelas com tendência a curva típica da figura 5.6 ou que pelo menos mostrassem tal tendência no seu trecho inicial. A figura 5.18a apresenta a variação com a profundidade dos valores máximos de atritos extraídos destas curvas.

Com a finalidade de manter a suposição de que mais se aproximam dos valores reais de atrito aqueles obtidos com o dispositivo (condição de palheta cravada), foi traçada a reta de regressão dos pontos no gráfico torque x profundidade para ensaios com curvas torque x ângulo de rotação tendendo a típicas e executadas com dispositivo do atrito. Estes valores são os utilizados nos cálculos (figura 5.18b).



VALORES OBTIDOS DE CURVAS TÍPICAS
(a)



VALORES OBTIDOS DE CURVAS TÍPICAS
EM ENSAIOS COM DISPOSITIVO DE ATRITO
(b)

FIGURA 5-18- TORQUES MÁXIMOS MEDIDOS EM ENSAIOS DE ATRITO x PROFUNDIDADE

Outra hipótese explicativa da dispersão verificada, seria a de que nos ensaios sem palheta ou com "haste cega", o peso próprio do conjunto de hastes descarregaria direta e unicamente na mola, que assim estaria submetida a um outro esforço que não o de causar seu fechamento, pelo torque atuante. Esta hipótese, no entanto, não foi confirmada, procedendo-se a ensaios com auxílio da mesa de calibração, carregando a mola com pesos correspondentes ao conjunto de hastes utilizado nos ensaios.

Nestes ensaios, porém, foi plenamente confirmada a ocorrência de atrito entre o conjunto de hastes A e o tubo de revestimento.

Assim, quanto maior a pressão da haste contra o revestimento, maiores eram as leituras de atrito no relógio comparador.

Andressen e Bjerrum (1956) indicam como fator da diminuição dos atritos a utilização de um mecanismo constituinte da parte superior do aparelho, projetado de maneira diferente quanto ao modo de transmissão de torque ao conjunto de hastes. Nesta aparelhagem, as molas em forma de anel para transmissão de torque estão substituídas por lâminas que se deformam elasticamente.

5.6 - CALIBRAÇÕES NO APARELHO

Foram procedidas duas calibrações no aparelho utilizado:

- Calibração da mola
- Calibração para determinação de deformação angular de haste fina e de conjunto de hastes A de extensão.

5.6.1 - CALIBRAÇÃO DAS MOLAS

Realizadas duas calibrações no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e no laboratório da Divisão de Pesquisas do DNER, através de dispositivo especialmente montado para esta finalidade.

A sistemática da calibração, em ambos os institutos, constou de uma aparelhagem capaz de submeter a mola a um torque de valor conhecido, para o qual correspondia uma leitura no relógio comparador. A repetição para valores de torques, desde 20 kg.cm até 1.500 kg.cm, propiciou a determinação da curva aproximada de calibração. O valor adotado para constante da mola nº 1 foi $0,950 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$. A figura 5.19 apresenta, o critério para determinação do valor da constante da mola.

A recalibração da mola nº 2 procedida no laboratório da DPq. indicou uma constante de valor aproximado $0,310 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$, enquanto a calibração executada no IPT deu como resultado um valor da mola $K = 0,592 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

5.6.2 - DETERMINAÇÃO DE DEFORMAÇÃO ANGULAR DA HASTE A

Os ângulos de rotação lidos diretamente no aparelho incluem uma parcela de deformação de haste fina (comprimento aproximado de 75cm) e da haste A (comprimento variável). Ambos são função do valor do torque aplicado.

Montou-se então, no laboratório, um dispositivo para medir tais deformações, constando de peça capaz de prender a palheta, evitando sua rotação e da mesa de calibração para fixação

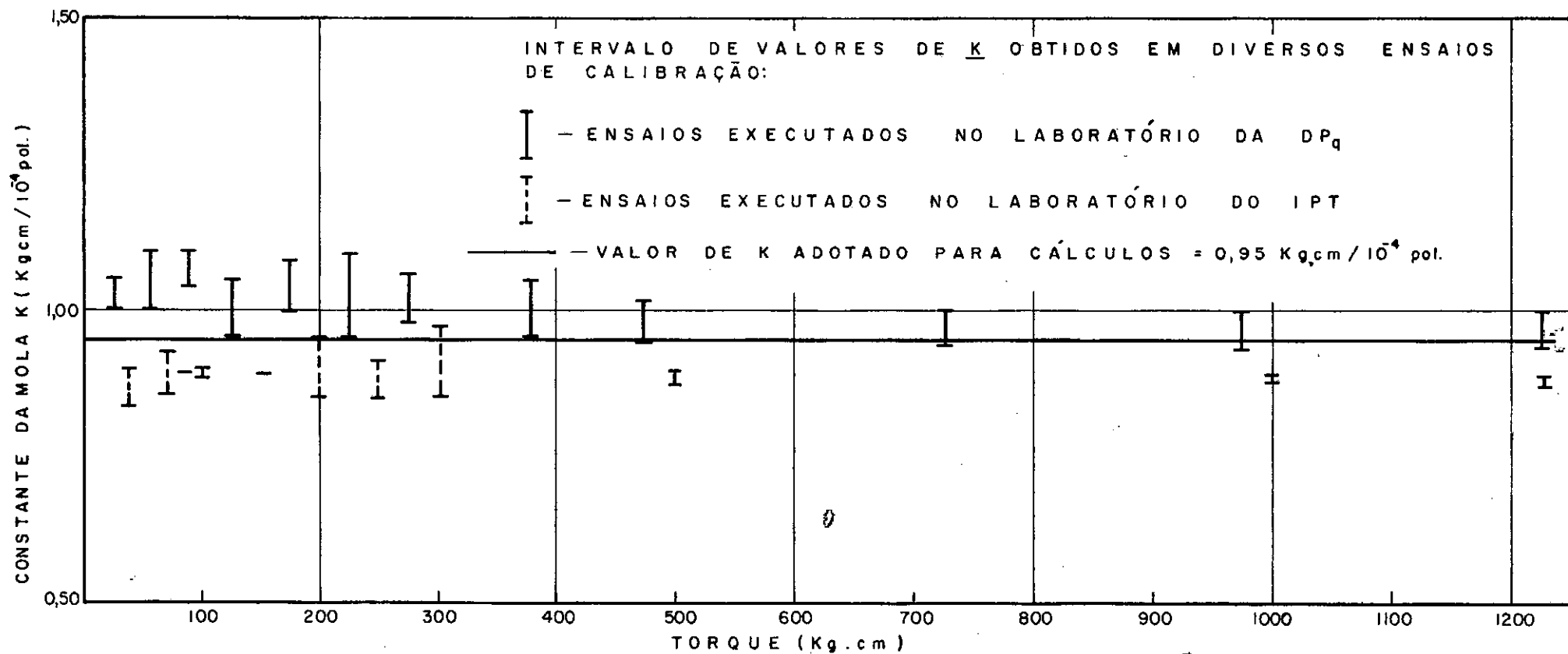


FIGURA 5-19 - DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DA MOLA UTILIZADA NOS ENSAIOS DE PALHETA.

do aparelho.

Aplicava-se uma rotação no conjunto de haste A, e lia-se as deformações indicadas no deflectômetro. Foram determinadas, em separado, as deformações da haste fina e do conjunto de hastes A.

As expressões médias obtidas e utilizadas nos cálculos para determinar o valor correto do ângulo de rotação do "Vane" são as seguintes:

a) haste fina:

$$\theta_1 = 0,025 T$$

b) haste A

$$\theta_2 = 0,0004 \cdot P \times T, \text{ sendo}$$

θ_1 e θ_2 correções angulares (graus)

P - profundidade - metros;

T - torque - kg.cm

O valor total de correção é:

$$\theta = (0,025 + 0,0004 P) T$$

Fórmula 5.1

Efetua-se também um cálculo baseado em fórmulas de torção indicadas por Suplicy de Lacerda (1964).

$$\frac{\alpha}{M \cdot L} = \frac{32}{\pi (d_e^4 - d_o^4) G}$$

(seção circular vazada)

(fórmula 5.2)

$$\frac{\alpha}{M_t} = \frac{32}{\pi d^4 G}$$

(seção circular cheia)

(fórmula 5.3)

sendo,

 α - deformação angular por unidade de comprimento; M_t - momento torsor atuante; d_e - diâmetro externo de seção circular vazada; d_i - diâmetro interno de seção circular vazada; d - diâmetro de seção circular cheia; G - módulo de elasticidade transversal.

$$= 0,8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Para a haste A, com $d_e = 4,04\text{cm}$ e $d_i = 3,00\text{cm}$, vem

$$\frac{\alpha}{M_t} = \frac{32}{\pi (4,04^4 - 3,00^4) 0,8 \times 10^6}$$

$$\frac{\alpha}{M_t} = 0,0687 \times 10^{-6} \text{ rd/kgcm/cm}$$

ou

$$\frac{\alpha}{M_t} = 0,000393 \text{ graus/kgcm/m.}$$

Para a haste fina, com $d = 1,28\text{cm}$, vem

$$\frac{\alpha}{M_t} = \frac{32}{3,14 \times 1,28^4 \times 0,8 \times 10^6}$$

$$\frac{\alpha}{Mt} = 4,74 \times 10^6 \text{ rd/kgcm/cm.}$$

ou

$$\frac{\alpha}{Mt} = 0,027 \text{ graus/kgcm/m.}$$

Para o comprimento de 0,75m de haste fina, tem-se:

$$\frac{\alpha}{Mt} = 0,0203 \text{ graus/kgcm}$$

Com estes valores a expressão teórica do ângulo de rotação é:

$$\alpha = (0,0203 + 0,000393 P) Mt$$

fórmula 5.4

Comparando-se as fórmulas 5.1 e 5.4, conclui-se que as mesmas levam a deformações angulares bem aproximadas, sendo a diferença tanto menor quanto maior o torque considerado.

6 - RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os valores de resistência não drenada das argilas pesquisadas no Sarapuí, Alcântara e Magé, considerando-as como isotrópicas quanto a esta resistência.

Estes valores foram obtidos de ensaios considerados bons, de acordo com o critério anteriormente analisado, que consistia na análise da curva deformação da mola x ângulo de rotação da palheta lido no aparelho. Estas curvas foram traçadas para todos os ensaios considerados definitivos. Para tanto utilizou-se o "plotter" do computador IBM 1130 da UFRJ.

As figuras 6.1 a 6.3 apresentam algumas destas curvas.

Conforme pode ser verificado, quase todas as curvas possuem um trecho inicial indefinido, quase paralelo ao eixo das abcissas, indicando um registro de deformação de mola, talvez motivado por uma acomodação das partes componentes do aparelho, ou pelo amolgamento do solo durante a cravação do "Vane", anteriormente a quaisquer indícios de torques devido à resistência do material argiloso à rotação da palheta.

Efetuuou-se uma primeira correção angular, constando da translação do eixo das ordenadas, de tal maneira que o novo "zero" da escala de ângulos de rotação se localizasse na interseção da reta de valores crescentes de torque (ramo inicial da curva torque x ângulo de rotação de palheta) com o eixo das abcissas. As figuras 6.1 a 6.3 ilustram o procedimento acima descrito.

Conforme indicado também no item 5.6, o conjunto de hastes A e a haste fina sofrem uma torção que é tanto maior quan

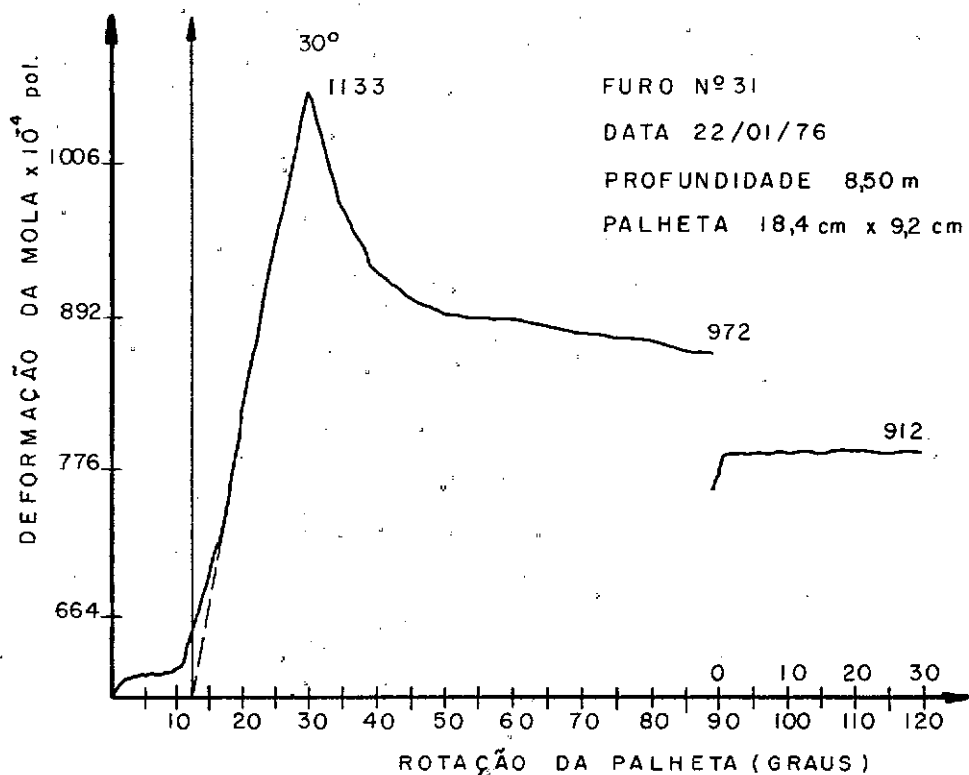
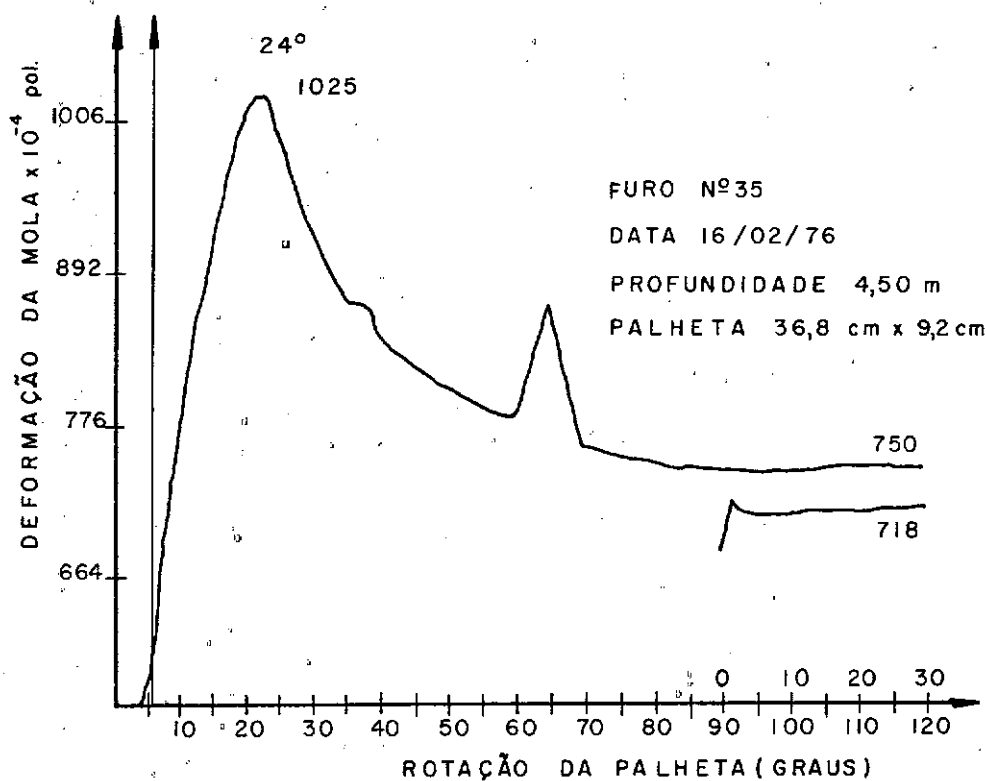


FIGURA 6-1- CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA (NÃO CORRIGIDO)
LOCAL: SARAPUÍ

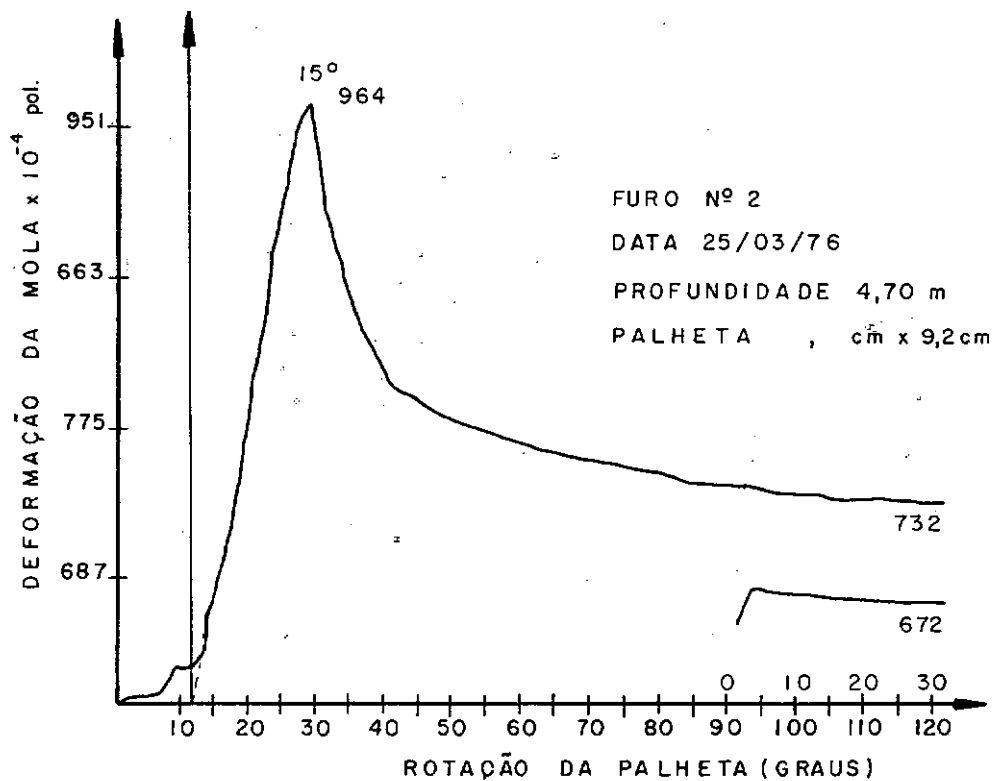
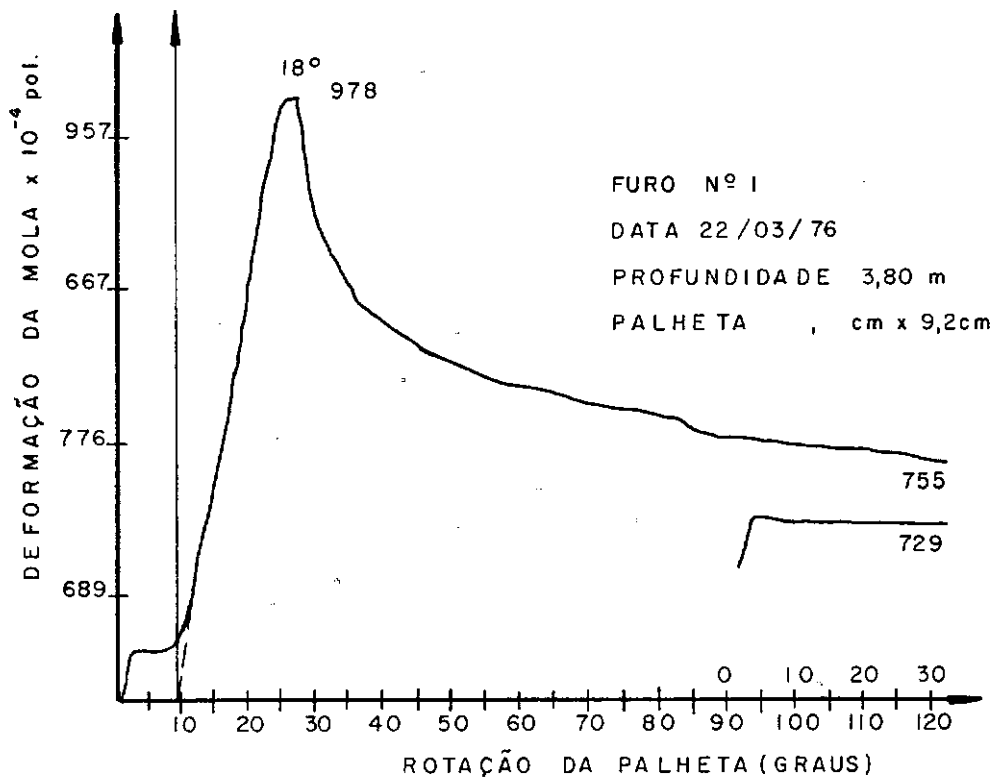


FIGURA 6-2— CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA (NÃO CORRIGIDO).
LOCAL: ALCÂNTARA

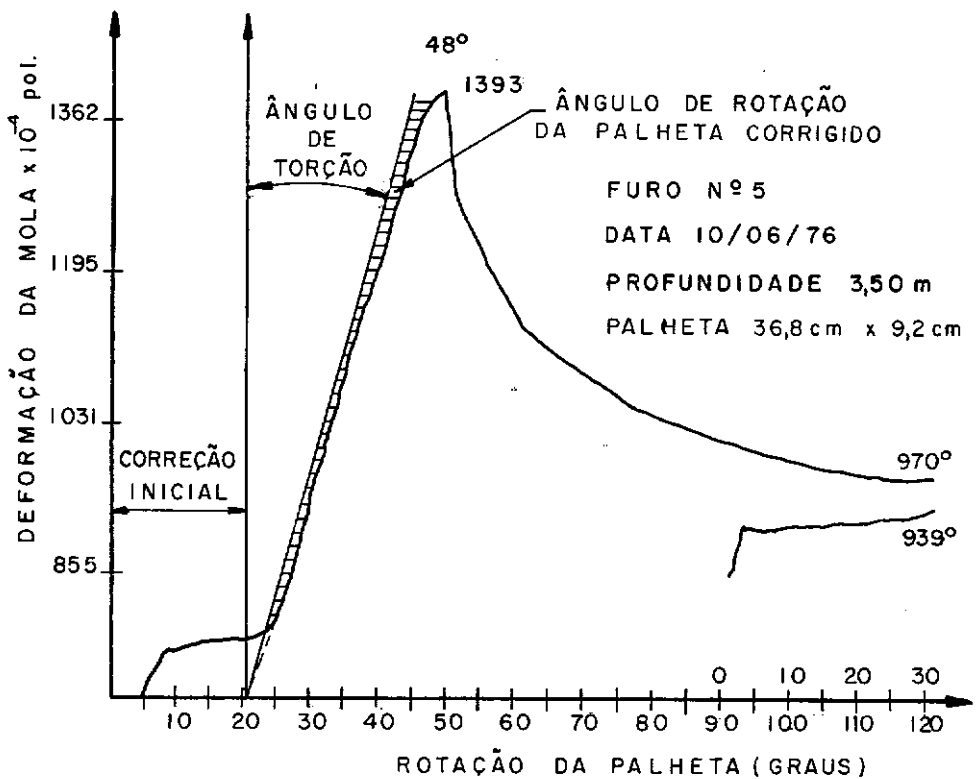
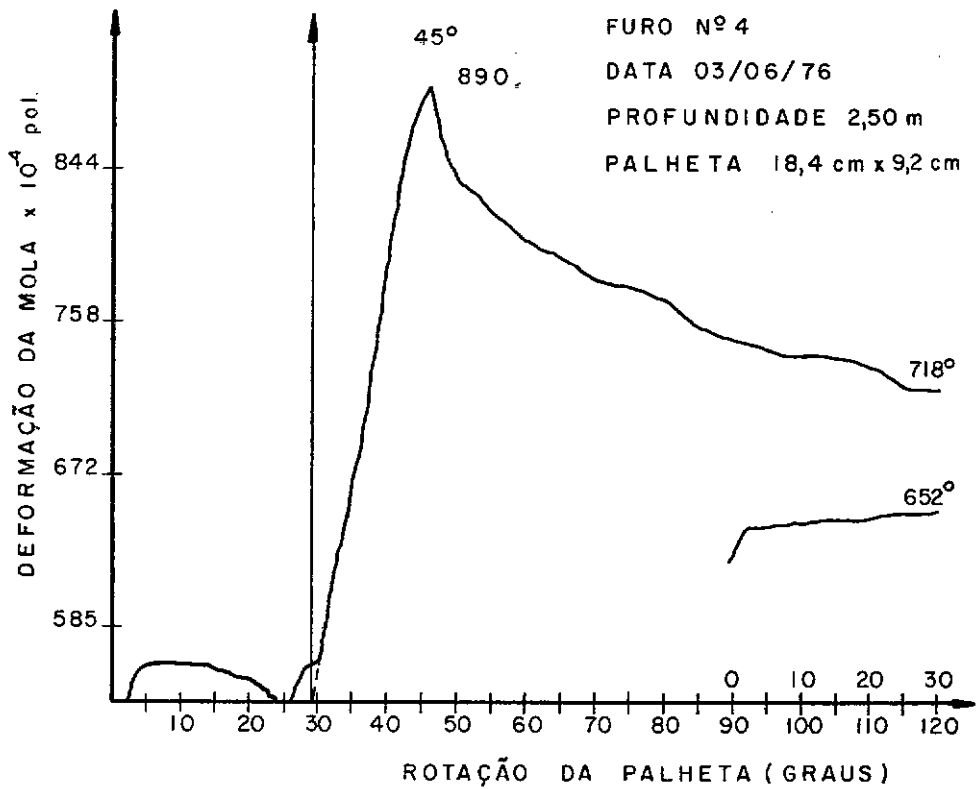


FIGURA 6.3 - CURVAS DEFORMAÇÃO DA MOLA \times ÂNGULO DE ROTAÇÃO DA PALHETA (NÃO CORRIGIDO).
LOCAL: MAGÉ

to maior o seu comprimento e momento aplicado. Portanto, os ângulos indicados na figura incluem uma parcela de rotação devida à torção das hastes. Uma segunda correção foi efetuada. Todas as curvas foram corrigidas e as tabelas 6.1 a 6.3 apresentam os valores dos ângulos correspondentes aos momentos máximos (ou resistências S_u máximas), com as duas correções.

A correção inicial foi feita pelo critério, anteriormente descrito, de translação do eixo das deformações, de modo a obter-se um trecho em reta no gráfico deformação x ângulo, até aproximadamente ao valor máximo de deformação."

A correção de torque foi efetuada através de expressão apresentada no item 5.6.2 e abaixo reproduzida.

$\frac{\theta}{T} = (0,0004 P + 0,025)$	Fórmula 6.1
---	-------------

sendo,

θ - valor da correção (graus)

P - profundidade do ensaio (metros)

T - torque aplicado (kg.cm)

A figura 6.3 apresenta curvas obtidas de ensaios e numa delas o procedimento para correção está indicado.

Nas tabelas 6.4 a 6.6 são apresentados os valores de resistência não drenada (S_u), para a argila considerada indeformada. Estão indicados os valores de S_u para todos os ensaios cujas curvas deformação de mola x ângulo de rotação de palheta indicaram um trecho ascendente, um valor máximo e um trecho imediatamente após ao valor máximo, tendendo a uma deformação residual. Em outras palavras, todos os ensaios cuja curva se aproximi

TABELA 6.1 - ÂNGULOS CORRIGIDOS RELATIVOS A TORQUES MÁXIMOS (GRAUS)

LOCAL: SARAPUI

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	5,1 x 10,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 19	Furo 22	Furo 32	Furo 24	Furo 26	Furo 31	Furo 35	Furo 36	Furo 37
1,50	-	-	8°		-				
2,50	12°	6°	6°	18°	14°	10°	18°	18°	19°
3,50	8°	4°	8°	17°	13°	14°	19°	20°	23°
4,50	10°	6°	4°	12°	15°	10°	19°	22°	22°
5,50	8°	5°	6°	13°	14°	10°	17°	23°	30°
6,50	6°	7°	8°	-	13°	10°	21°	25°	26°
7,50	7°	6°	5°	11°	-	12°	24°	26°	26°
8,50	5°	6°	7°	12°	-	14°	32°	26°	25°
9,50	8°	6°	9°	12°	-	24°	33°	31°	31°

TABELA 6.2 - ÂNGULOS CORRIGIDOS RELATIVOS A TORQUES MÁXIMOS (GRAUS)

LOCAL: ALCÂNTARA

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 5	Furo 7	Furo 11	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Furo 8	Furo 9	Furo 10
1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,50	18°	-	-	27°	-	-	-	-	-
3,50	11°	10°	-	17°	14°	-	-	-	-
4,50	13°	10°	-	-	15°	-	28°	30°	-
5,50	13°	12°	-	15°	27°	-	22°	24°	-
6,50	16°	11°	-	17°	18°	-	24°	33°	-
7,50	12°	-	-	12°	16°	-	28°	28°	-

TABELA 6.3 - ÂNGULOS CORRIGIDOS RELATIVOS A TORQUES MÁXIMOS (GRAUS)

LOCAL: MAGÉ

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 3	Furo 7	Furo 11	Furo 4	Furo 6	Furo 10	Furo 5	Furo 8	Furo 12
1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,50	-	23°	-	19°	21°	-	27°	24°	-
3,50	13°	14°	-	-	19°	-	28°	22°	-
4,50	13°	20°	-	20°	17°	-	30°	21°	-
5,50	-	-	-	-	19°	-	34°	21°	-
6,50	24°	18°	-	-	21°	-	46°	28°	-
7,50	15°	19°	-	-	21°	-	24°	28°	-
8,50	12°	15°	-	33°	22°	-	40°	31°	-
9,50	14°	9°	-	-	22°	-	40°	31°	-
10,50	-	-	-	-	-	-	47°	32°	-

TABELA 6.4 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- S_u (t/m²)
ARGILA INDEFORMADA
LOCAL: SARAPUI

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	5,1 x 10,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 19	Furo 22	Furo 32	Furo 24	Furo 26	Furo 31	Furo 35	Furo 36	Furo 37
1,50	-	-	1,00	-	0,71	0,81	-	-	-
2,50	0,60	0,65	0,59	0,77	0,38	0,37	0,69	0,67	0,65
3,50	0,63	0,64	0,68	0,79	0,73	0,65	0,78	0,73	0,80
4,50	0,77	0,78	0,58	0,60	1,15	0,73	0,75	0,73	0,81
5,50	0,91	0,94	0,70	0,52	1,02	0,87	0,94	0,80	0,95
6,50	0,82	1,30	0,90	-	0,99	1,16	0,96	1,12	1,13
7,50	0,89	1,05	0,86	0,75	-	1,05	1,15	0,91	1,17
8,50	1,10	1,15	1,22	1,13	-	1,11	1,42	1,12	1,34
9,50	1,40	1,45	1,44	0,93	-	1,43	1,52	1,51	1,44
10,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 6.5 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- S_u (t/m²)
ARGILA INDEFORMADA
LOCAL. ALCÂNTARA

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 5	Furo 7	Furo -	Furo 1	Furo 2	Furo -	Furo 8	Furo 9	Furo -
1,50	1,75	2,31	-	-	-	-	-	-	-
2,50	1,87	-	-	1,71	-	-	-	-	-
3,50	1,25	0,86	-	1,09	0,92	-	-	-	-
4,50	1,29	1,11	-	-	1,05	-	1,29	1,24	-
5,50	1,25	1,40	-	1,10	1,12	-	1,09	1,27	-
6,50	2,14	1,27	-	1,18	1,31	-	1,34	1,84	-
7,50	0,67*	-	-	0,75*	1,27	-	1,20	1,60	-
8,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Valores não considerados

TABELA 6.6 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- Su (t/m²)
ARGILA INDEFORMADA
LOCAL: MAGÉ

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 3	Furo 7	Furo -	Furo 4	Furo 6	Furo -	Furo 5	Furo 8	Furo -
1,50	4,81*	-	-	1,89	2,00	-	-	1,47	-
2,50	1,32	1,02	-	1,07	1,47	-	1,14	1,25	-
3,50	1,08	1,02	-	1,25	1,15	-	1,16	1,27	-
4,50	1,06	1,73	-	1,16	1,07	-	1,10	1,29	-
5,50	1,40	-	-	-	1,31	-	1,39	1,28	-
6,50	1,44	1,01	-	0,39*	1,62	-	1,86	1,41	-
7,50	1,34	1,92	-	1,42	1,66	-	1,08*	1,57	-
8,50	1,59	1,41	-	1,70	2,17	-	1,99	1,66	-
9,50	2,00	1,02	-	1,82	2,01	-	1,90	1,91	-
10,50	0,47*	2,13	-	1,97	-	-	2,02	2,03	-
11,50	0,45*	2,94	-	2,14	2,16	-	2,01	2,07	-

* Valores não considerados

mava da forma indicada na figura 5.6.

Deve ser salientado que os valores de resistência indicados nas tabelas são os correspondentes à deformação de pico das diversas curvas obtidas.

Mesmo após este critério seletivo de ensaios, alguns destes foram eliminados. Os valores correspondentes a esses ensaios estão acompanhados de um asterísco nas tabelas apresentadas. São em número de dois ensaios em Alcântara e cinco em Magé.

O critério para tal eliminação baseou-se na observação de que estes valores contrariavam uma tendência crescente da resistência com a profundidade, colocando-se fora de uma esperada dispersão de valores próprios de ensaios do tipo efetuado.

As tabelas 6.7 a 6.9 apresentam os valores de S_u , para as argilas consideradas "amolgadas", procedendo-se para sua determinação como anteriormente descrito. Utilizou-se também o critério de se eliminar os ensaios cujas curvas torque x ângulo discrepavam da teoricamente esperada.

Os valores acompanhados de asterísco (sete no Sarapuí e dois em Magé) não foram levados em consideração, porque apresentaram-se altos em comparação com os respectivos da argila indeformada.

Nas figuras 6.4 a 6.21 são apresentadas as variações da resistência não drenada com a profundidade, de acordo com diferentes critérios, para os depósitos de Sarapuí, Alcântara e Magé. Procurou-se mostrar tais variações para valores de S_u , considerando-se cada uma das palhetas utilizadas individualmente e para o conjunto de todos os valores obtidos dos ensaios com as três

TABELA 6.7 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- Su (t/m²)
ARGILA "AMOLGADA"
LOCAL: SARAPUI

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	5,1 x 10,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 19	Furo 22	Furo 32	Furo 24	Furo 26	Furo 31	Furo 35	Furo 36	Furo 37
1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,50	-	-	0,19	0,31	-	0,41*	0,14	0,19	0,26
3,50	-	0,44	0,41	0,08	-	0,16	0,28	0,27	0,35
4,50	-	0,83*	-	-	0,82*	-	0,25	0,23	0,30
5,50	0,40	0,75*	0,26	-	0,66*	0,32	0,33	0,18	0,30
6,50	-	1,13*	0,35	-	0,29	0,35	0,37	0,32	0,34
7,50	0,26	0,96*	0,50	0,63	-	-	0,15	0,30	0,30
8,50	0,21	0,79	0,78	0,46	-	0,46	0,51	0,28	0,31
9,50	0,20	0,46	0,53	0,27	-	0,59	0,49	0,40	0,48
10,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Valores não considerados

TABELA 6.8 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- S_u (t/m²)
ARGILA "AMOLGADA"
LOCAL: ALCÂNTARA

Profundidade (m)	Dimensões das Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18,4 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo	Furo	Furo	Furo	Furo	Furo	Furo	Furo	Furo
	5	7	-	1	2	-	8	9	-
1,50	0,45	0,65	-	-	-	-	-	-	-
2,50	0,65	-	-	0,36	-	-	-	-	-
3,50	0,32	0,16	-	0,33	0,34	-	-	-	-
4,50	0,42	0,32	-	-	0,18	-	0,36	0,32	-
5,50	0,45	0,22	-	0,19	0,33	-	0,33	0,30	-
6,50	0,68	0,36	-	0,25	0,22	-	0,39	0,33	-
7,50	-	-	-	0,09	0,23	-	0,15	0,42	-
8,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 6.9 - VALORES DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA
- Su (t/m²)
ARGILA "AMOLGADA"
LOCAL: MAGÉ

Profundidade (m')	Dimensões da Palhetas (cm)								
	4,6 x 9,2			18 x 9,2			36,8 x 9,2		
	Furo 3	Furo 7	Furo -	Furo 4	Furo 6	Furo -	Furo 5	Furo 8	Furo -
1,50	-	-	-	0,40	0,63	-	-	0,42	-
2,50	-	0,33	-	0,30	0,71	-	0,33	0,31	-
3,50	-	0,42	-	0,30	0,52	-	0,08	0,46	-
4,50	-	1,25*	-	0,26	0,29	-	0,37	0,43	-
5,50	-	-	-	-	0,44	-	0,56	0,49	-
6,50	-	0,46	-	0,09	0,69	-	0,67	0,46	-
7,50	-	1,58*	-	0,37	0,53	-	0,41	0,48	-
8,50	-	0,23	-	0,40	0,47	-	-	0,59	-
9,50	-	0,28	-	0,48	0,55	-	0,86	0,73	-
10,50	-	0,81	-	0,51	0,97	-	0,73	0,66	-
11,50	-	0,98	-	-	-	-	0,60	0,63	-

* Valores não considerados

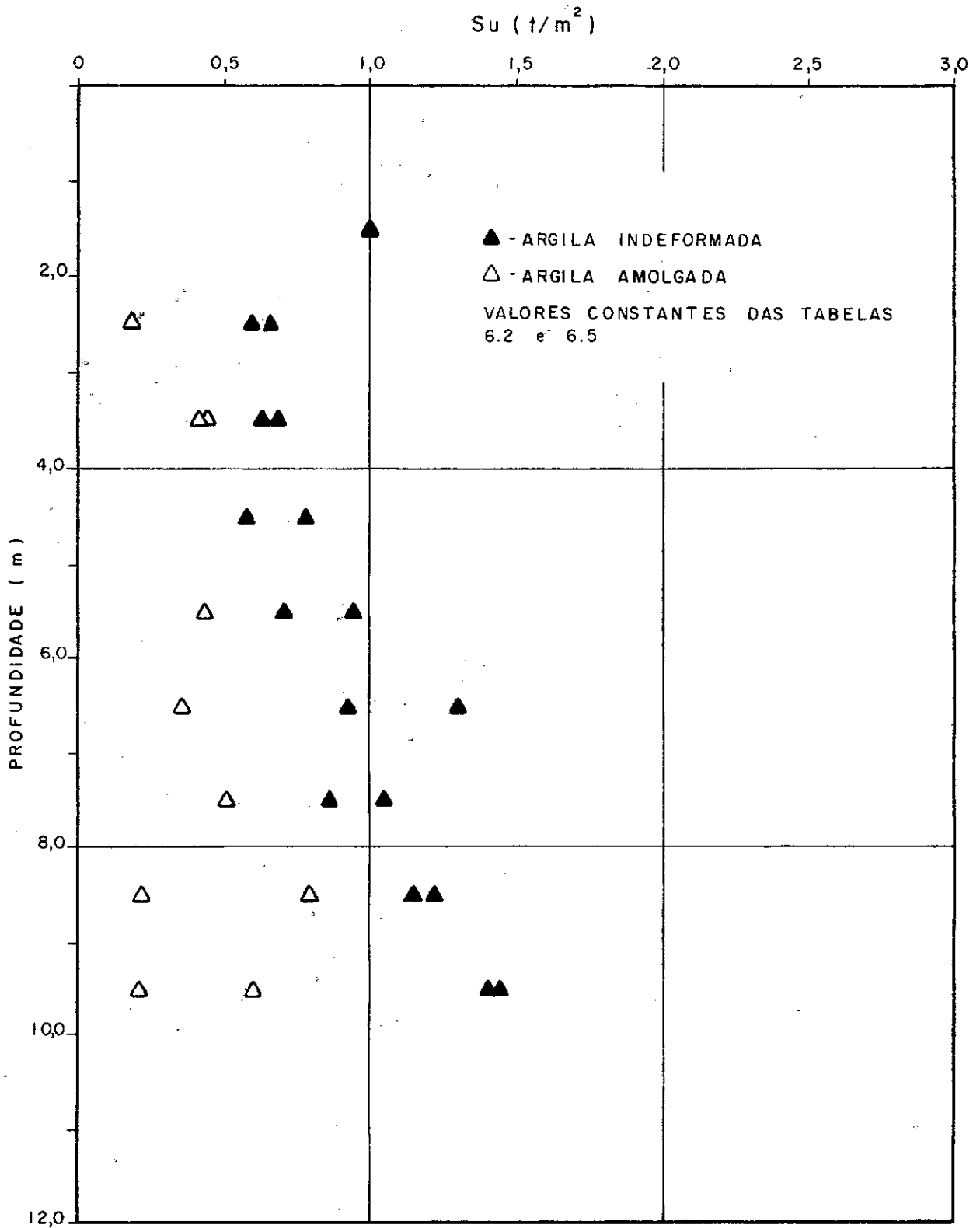


FIGURA 6.4 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 5,1 cm x 10,2 cm.

LOCAL: SARAPUÍ.

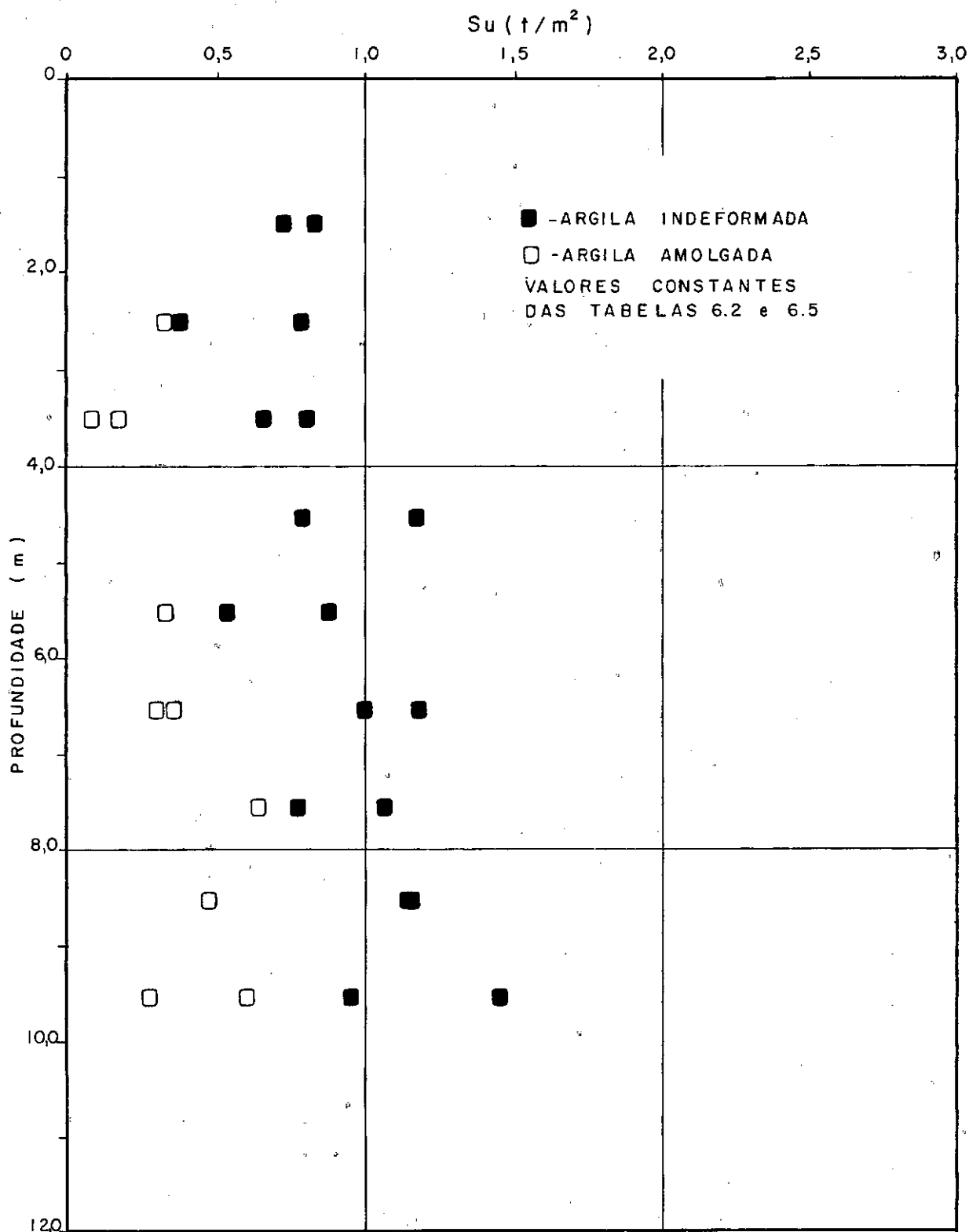


FIGURA 6.5 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHETA

18,4 cm x 9,2 cm.

LOCAL: SARAPUÍ.

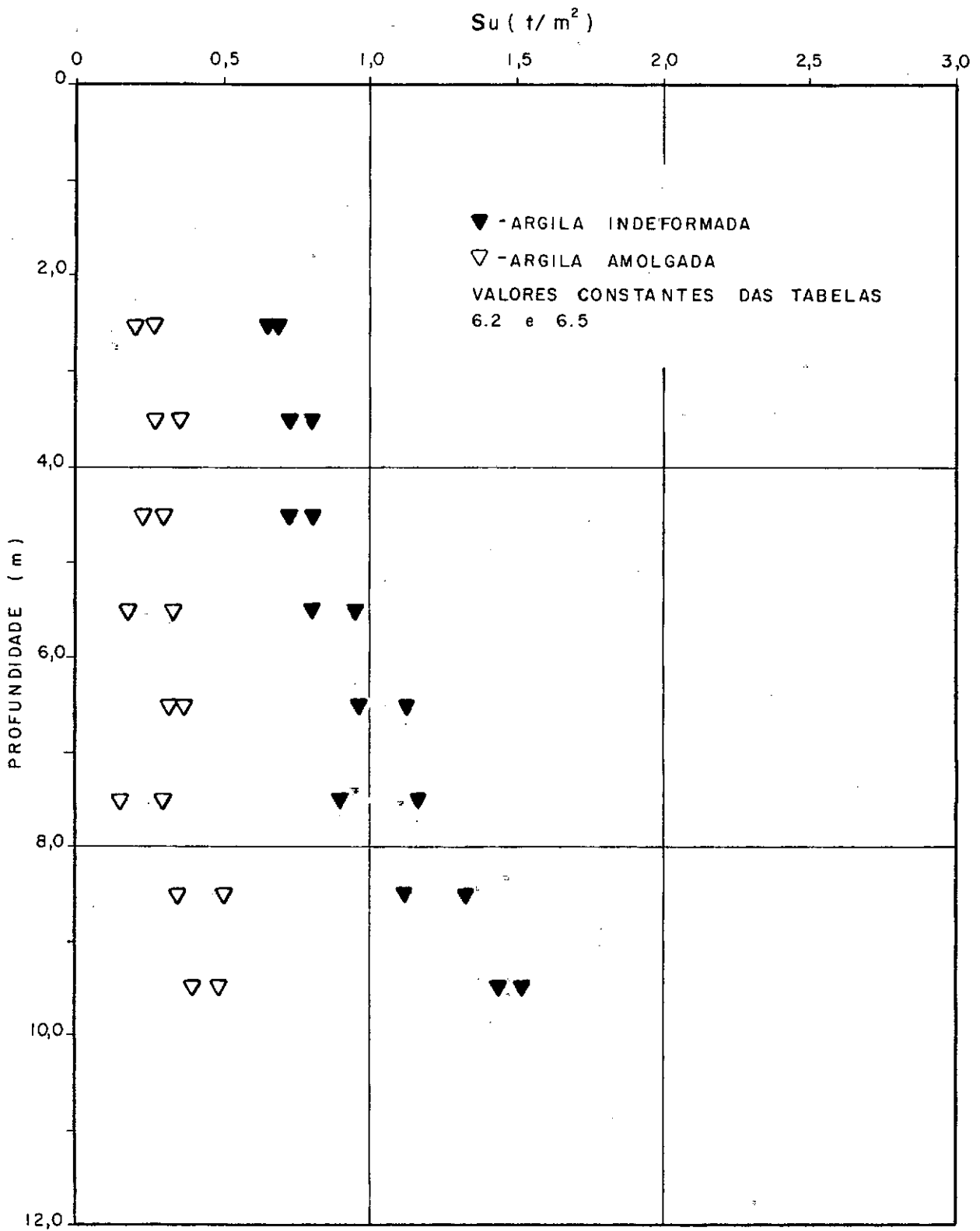


FIGURA 6.6 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 36,8 cm x 9,2 cm.

LOCAL: SARAPUÍ

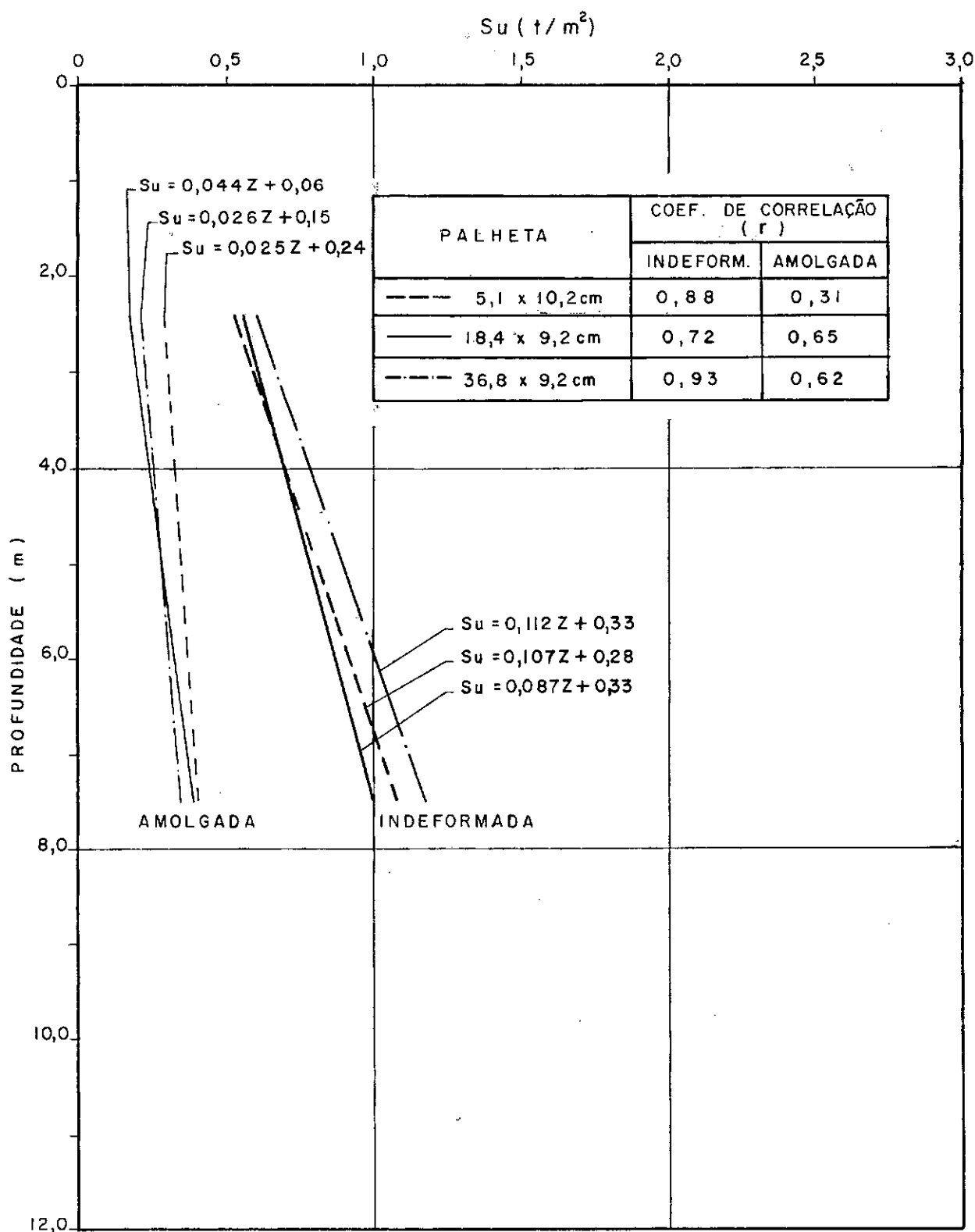


FIGURA 6.7— VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.
RETAS OBTIDAS POR REGRESSÃO LOCAL: SARAPUÍ.

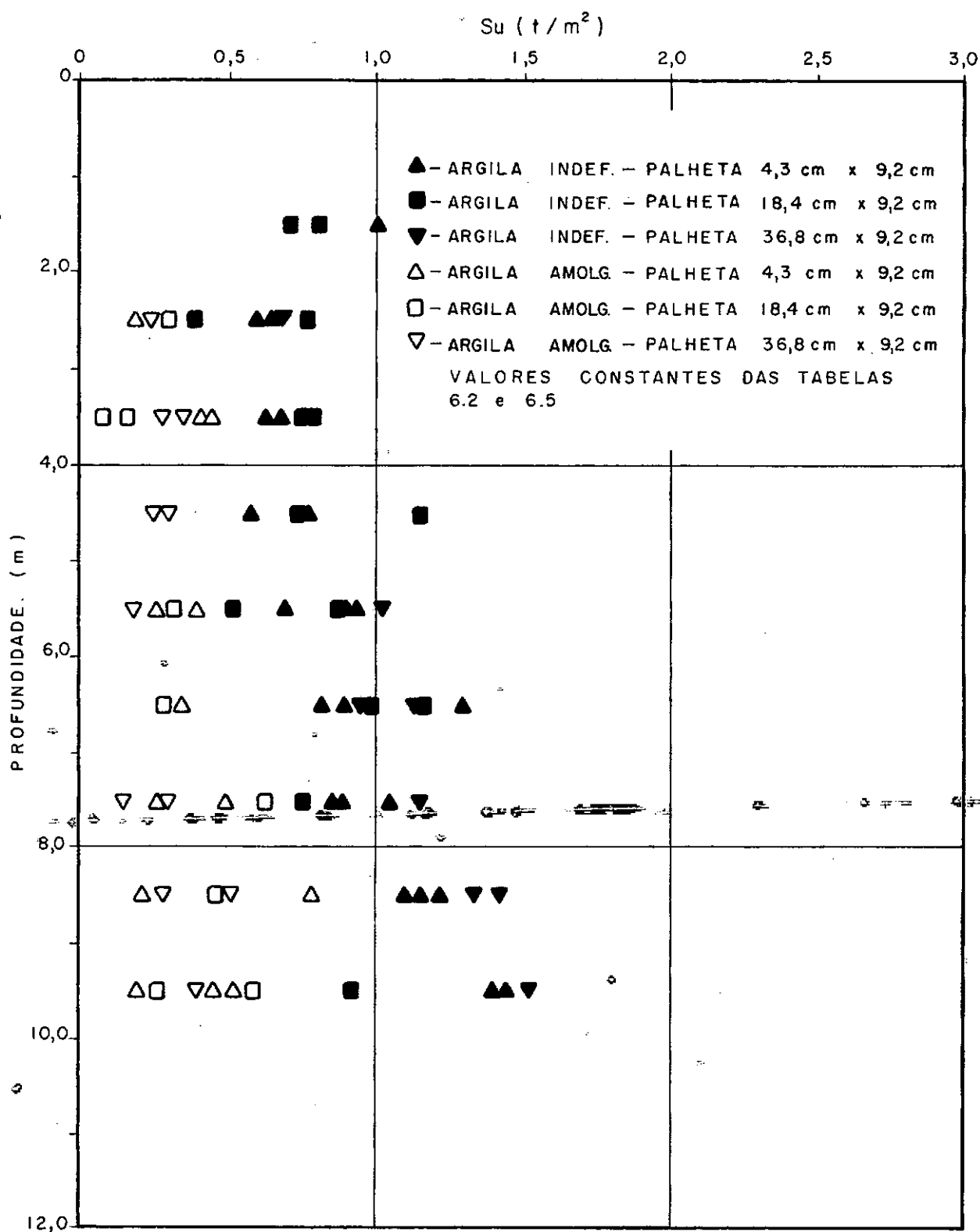


FIGURA 6-8 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.

LOCAL: SARAPUÍ

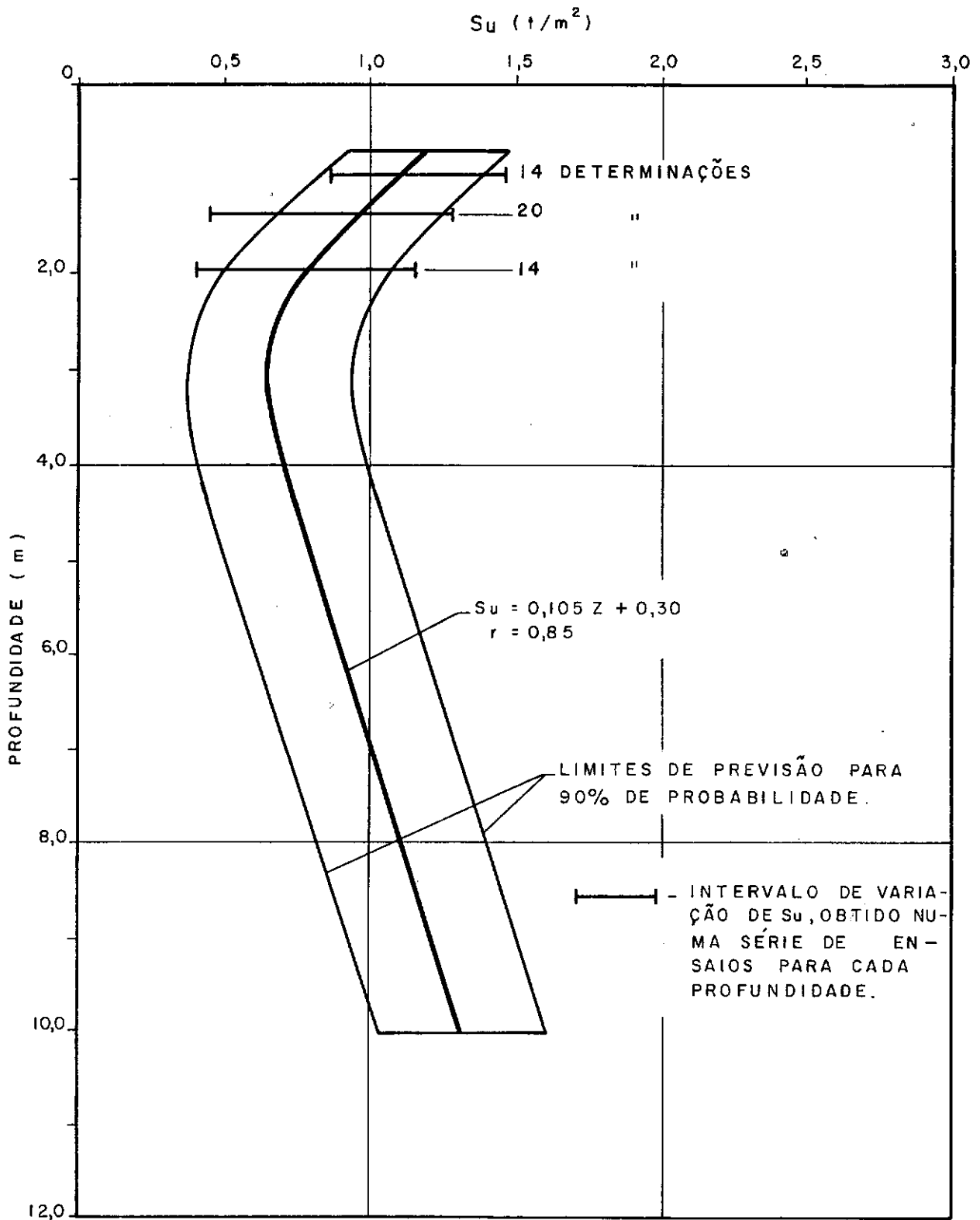


FIGURA 6-9 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

RETA DE REGRESSÃO E REGIÃO DE PREVISÃO CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.
LOCAL: SARAPUÍ.

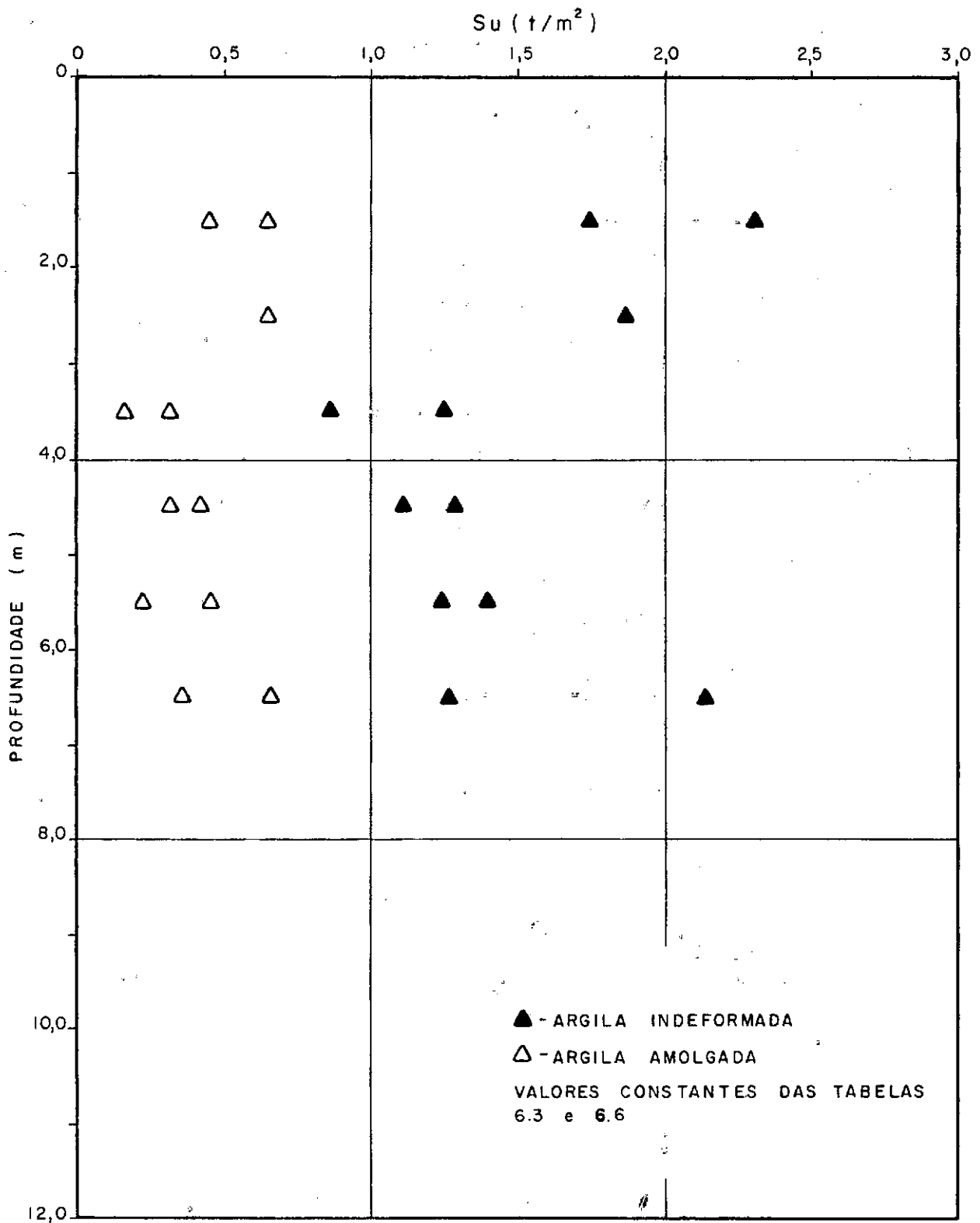


FIGURA 6.10 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 4,6 cm x 9,2 cm.

LOCAL: ALCÂNTARA.

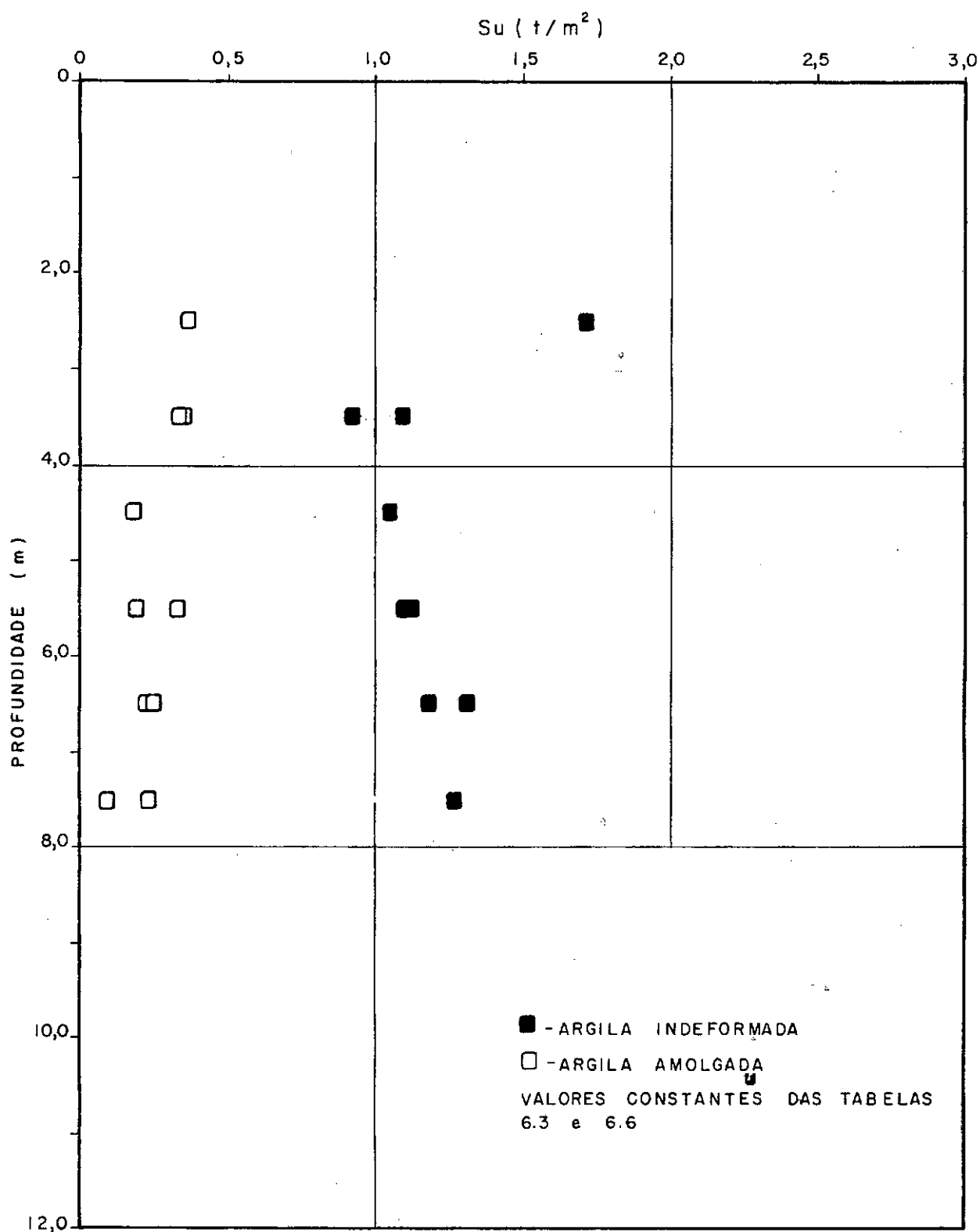


FIGURA 6.11 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHETA 18,4 cm x 9,2 cm

LOCAL: ALCÂNTARA.

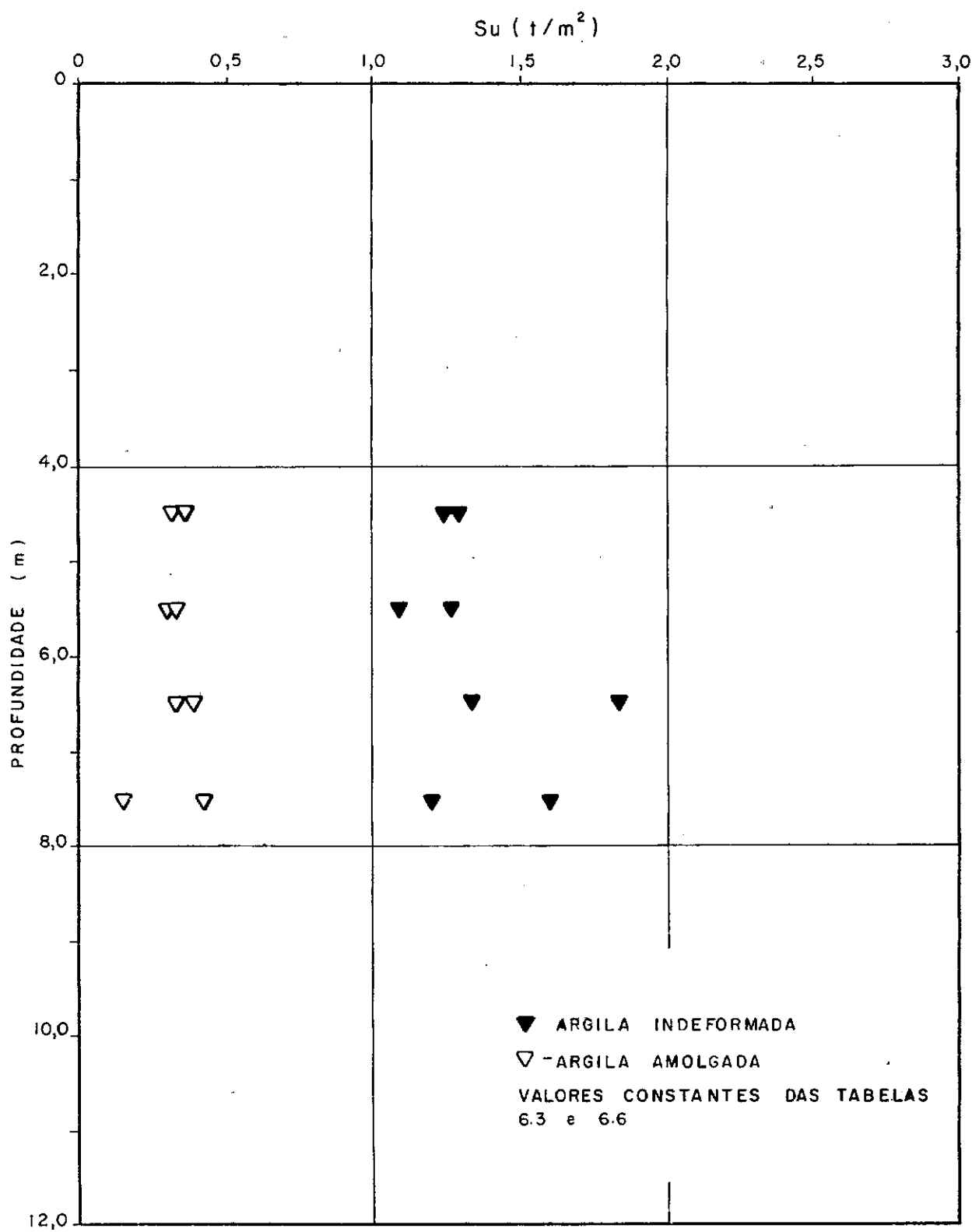


FIGURA 6.12 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 36,8cm x 9,2cm

LOCAL: ALCÂNTARA.

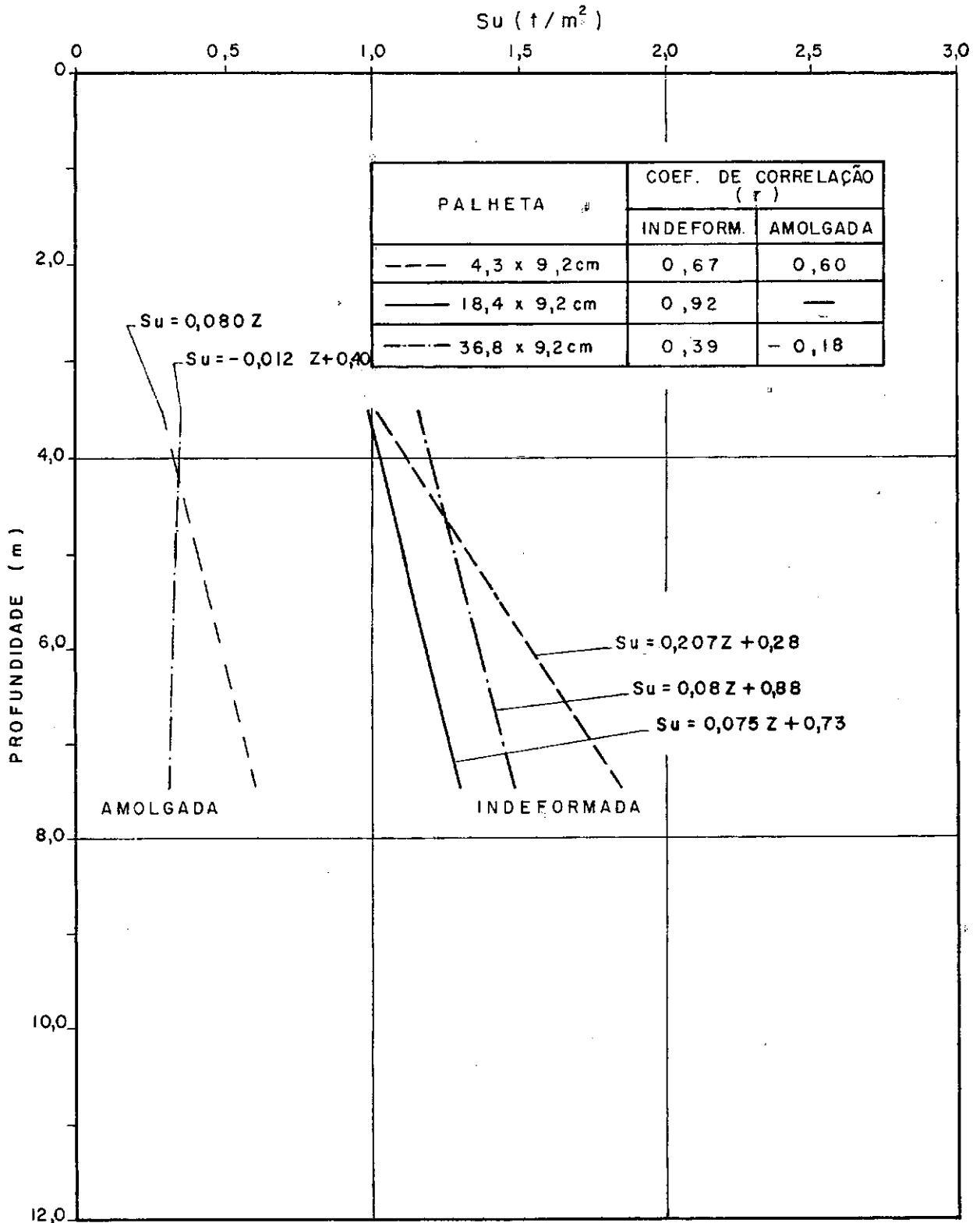
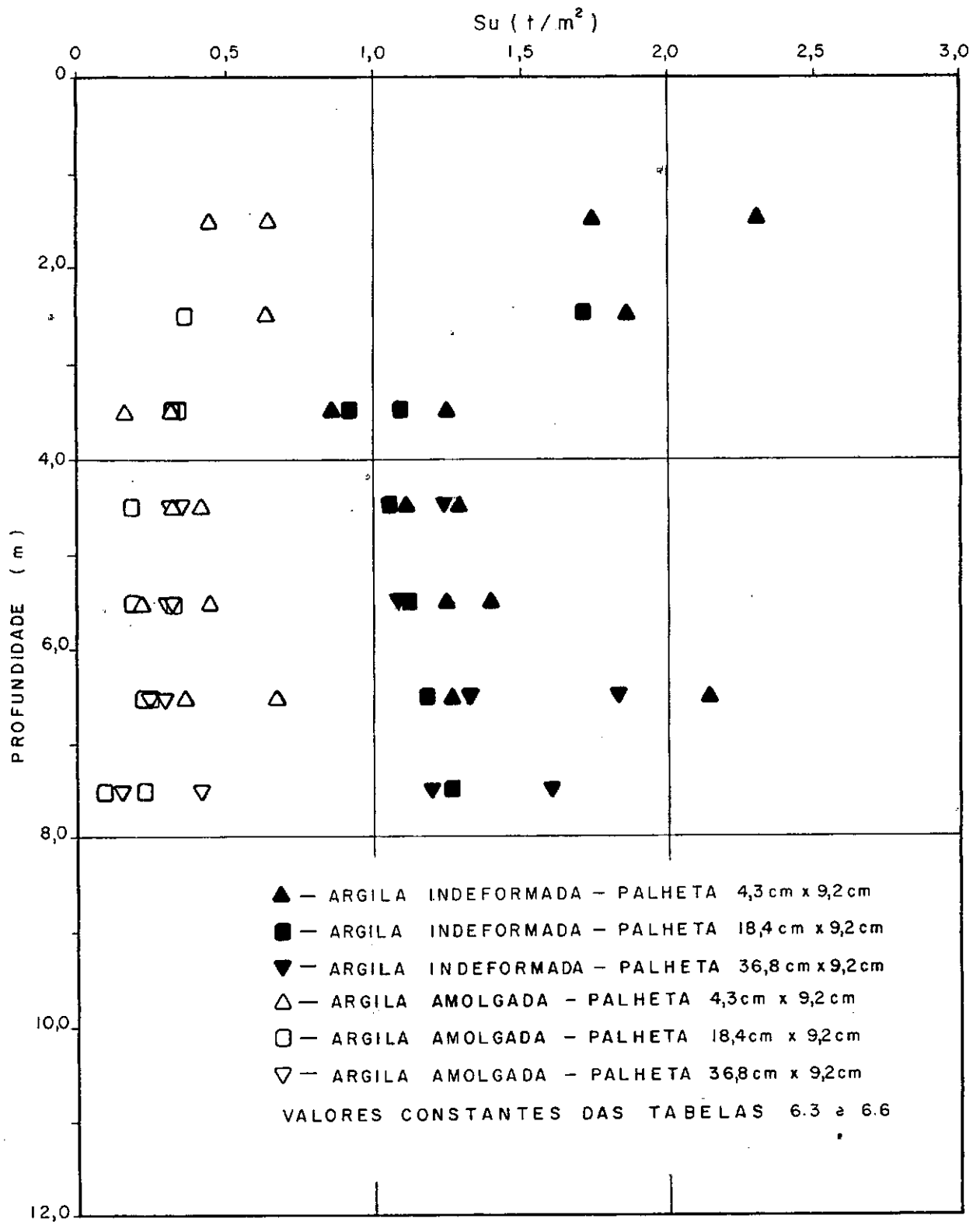


FIGURA 6-13- VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.
RETAS OBTIDAS POR REGRESSÃO.
LOCAL: ALCÂNTARA.



FIGURA^o 6-14- VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.

LOCAL: ALCÂNTARA.

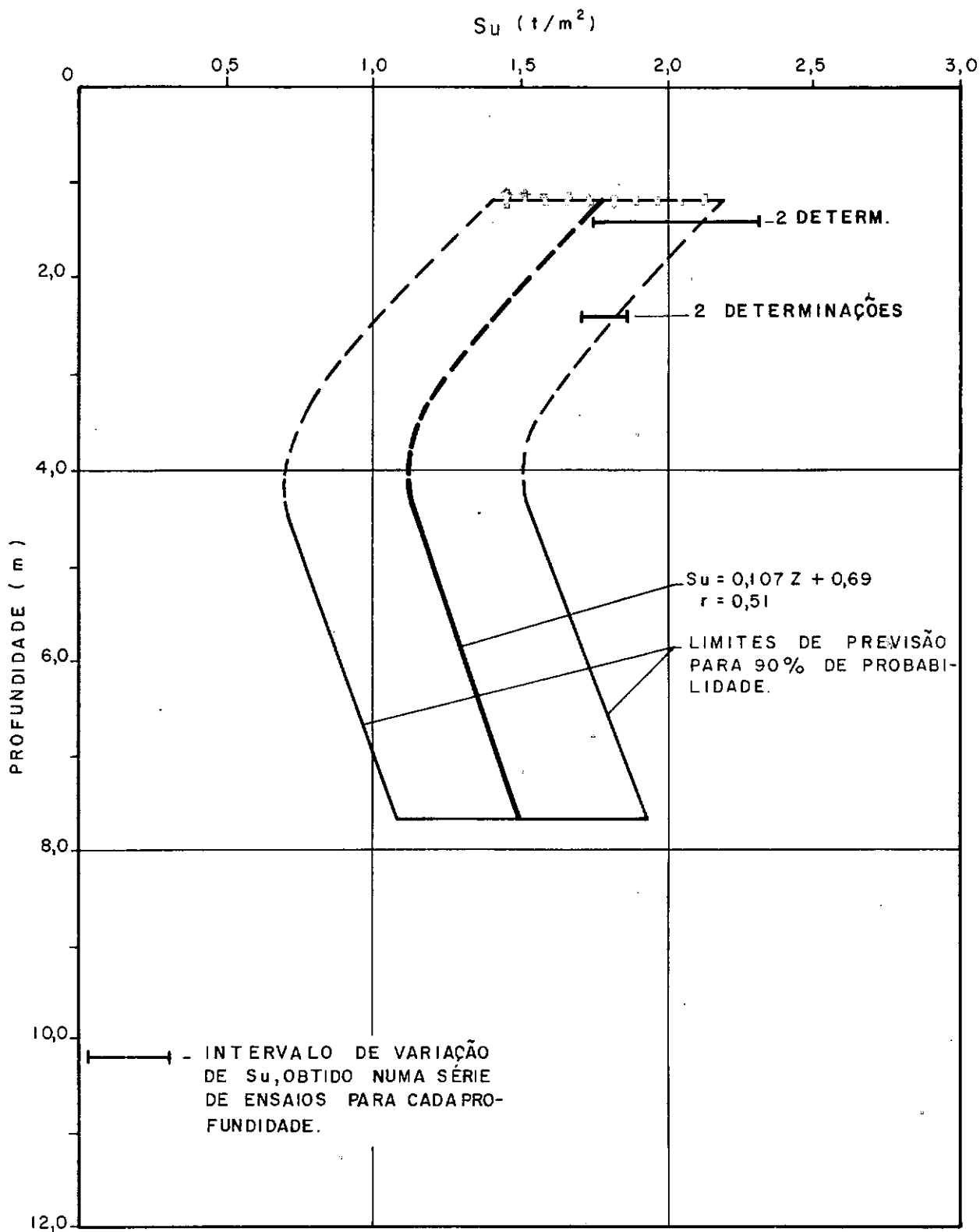


FIGURA 6-15 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

RETA DE REGRESSÃO E REGIÃO DE PREVISÃO CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.
 LOCAL: ALCÂNTARA

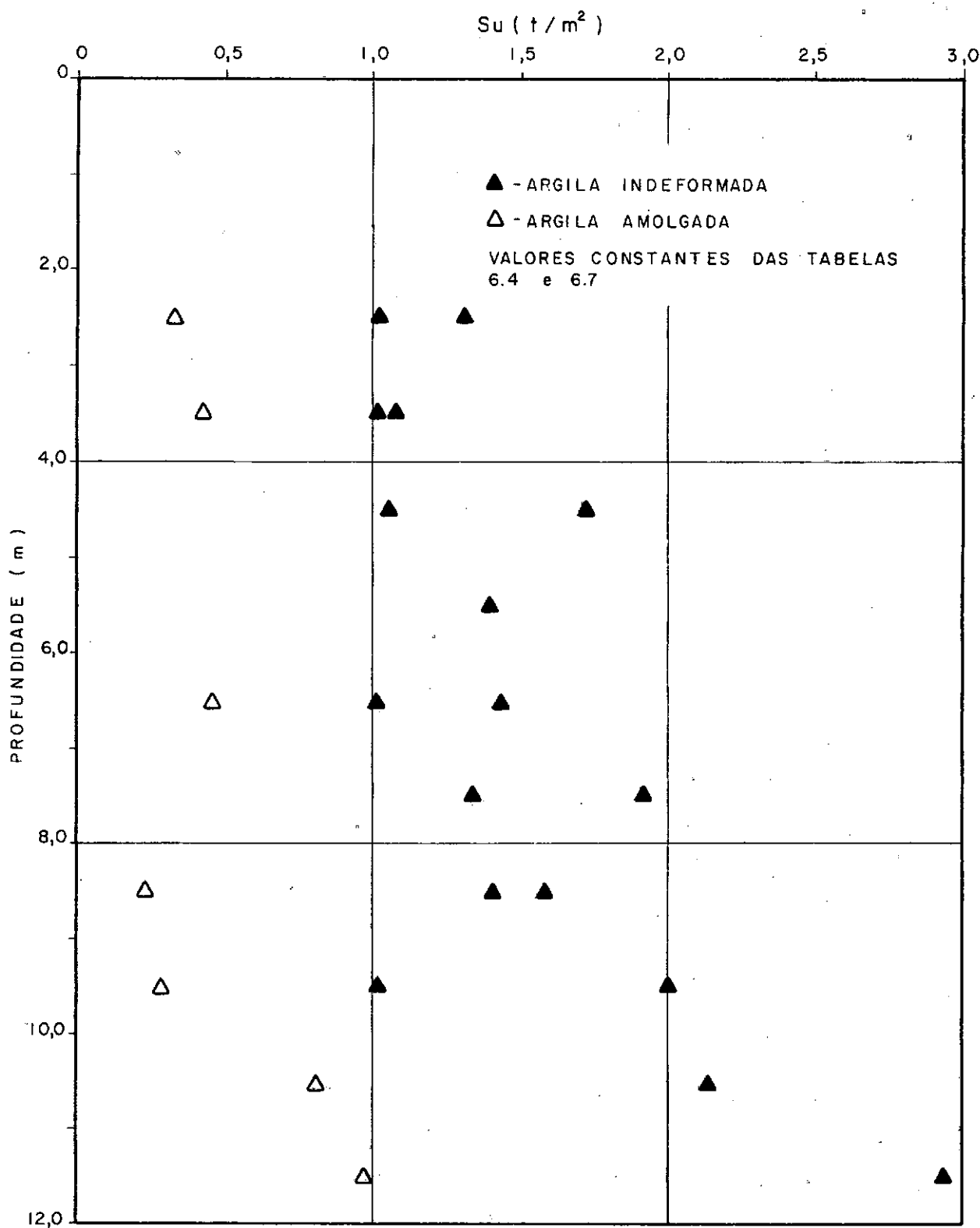


FIGURA 6-16 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 4,3 cm x 9,2 cm.

LOCAL: MAGÉ.

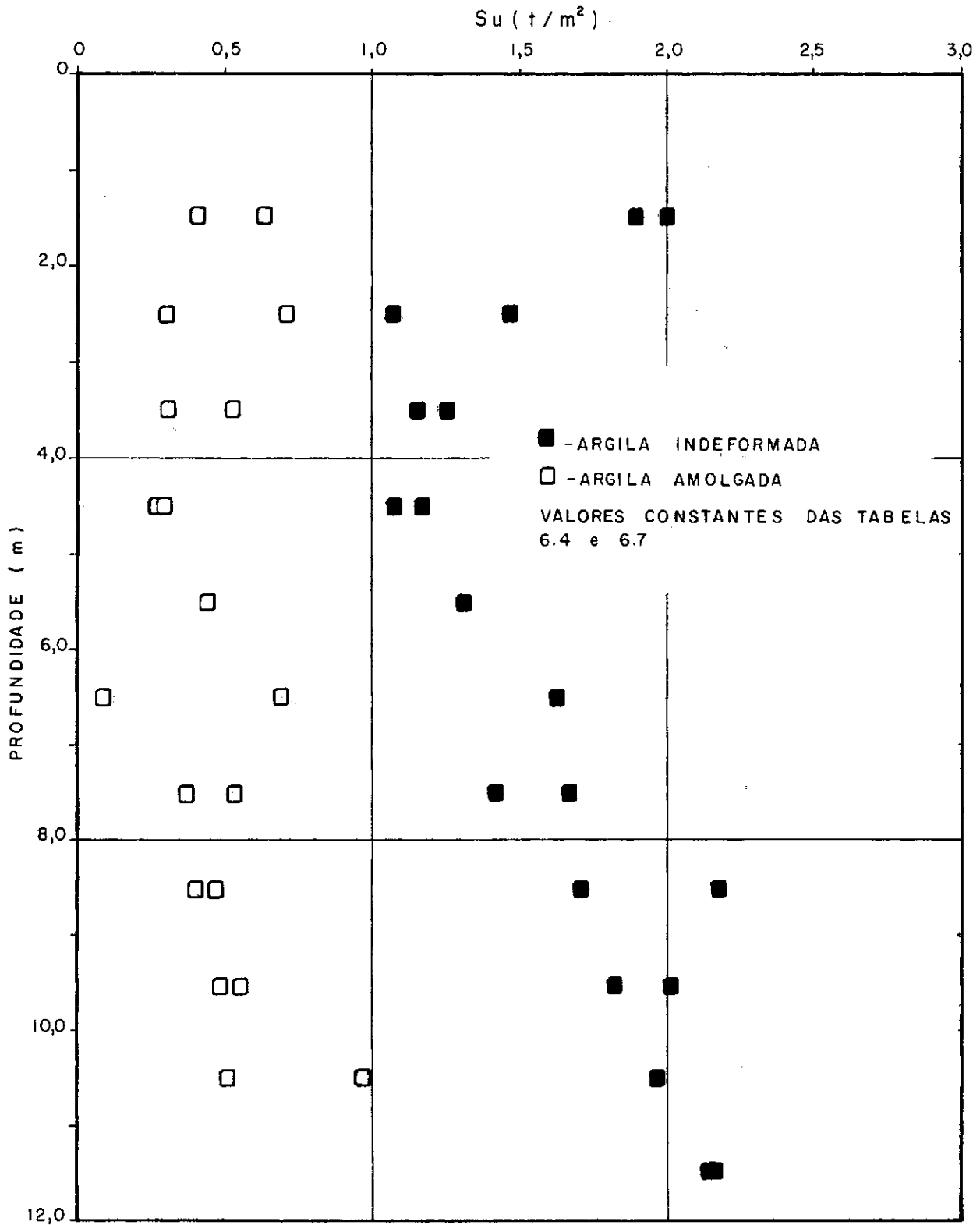


FIGURA 6.17 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHETA 18,4cm x 9,2cm.

LOCAL: MAGÉ.

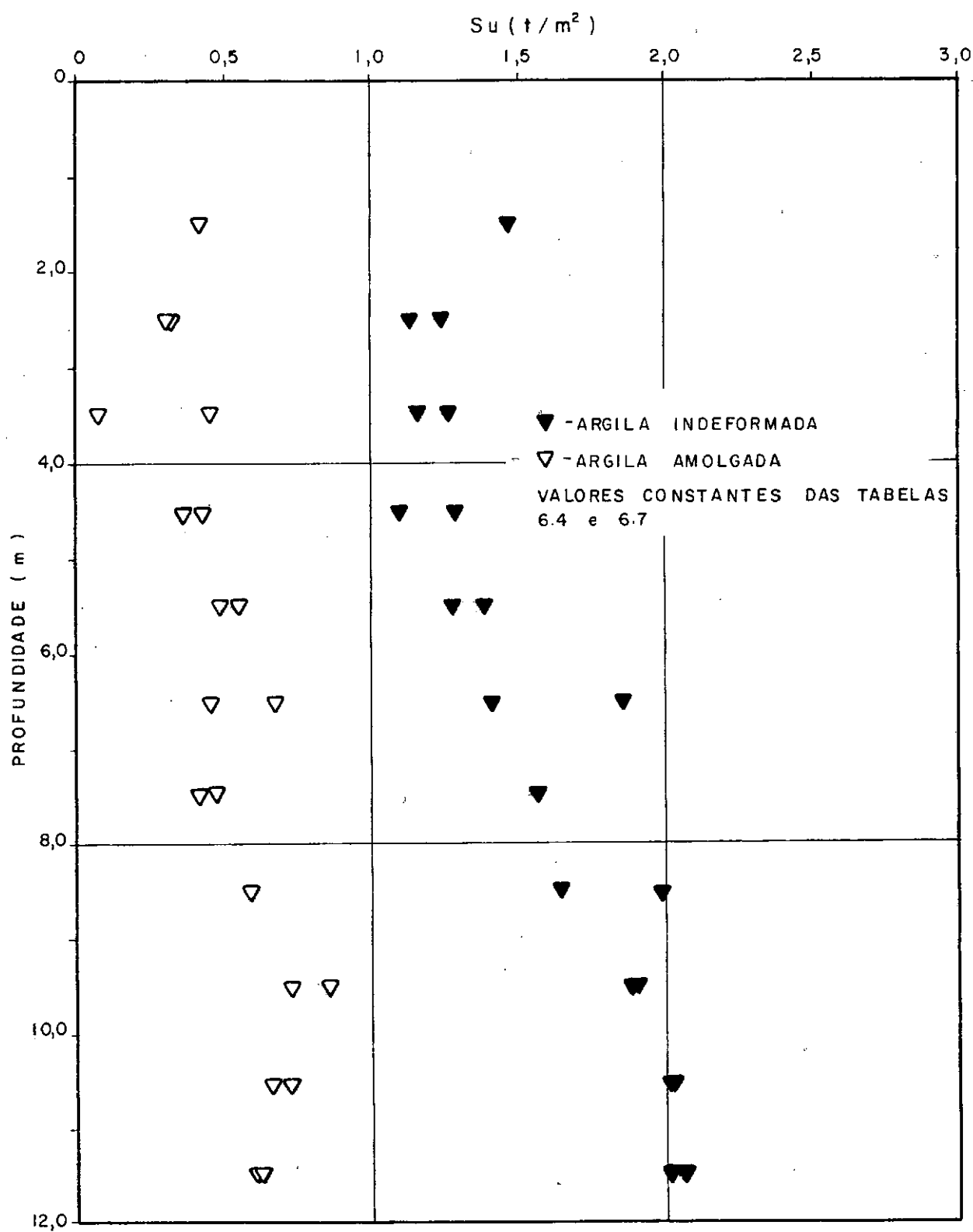


FIGURA 6.18 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA² COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS DE ENSAIOS COM PALHE -
TA 36,8 cm x 9,2 cm.

LOCAL: MAGÉ

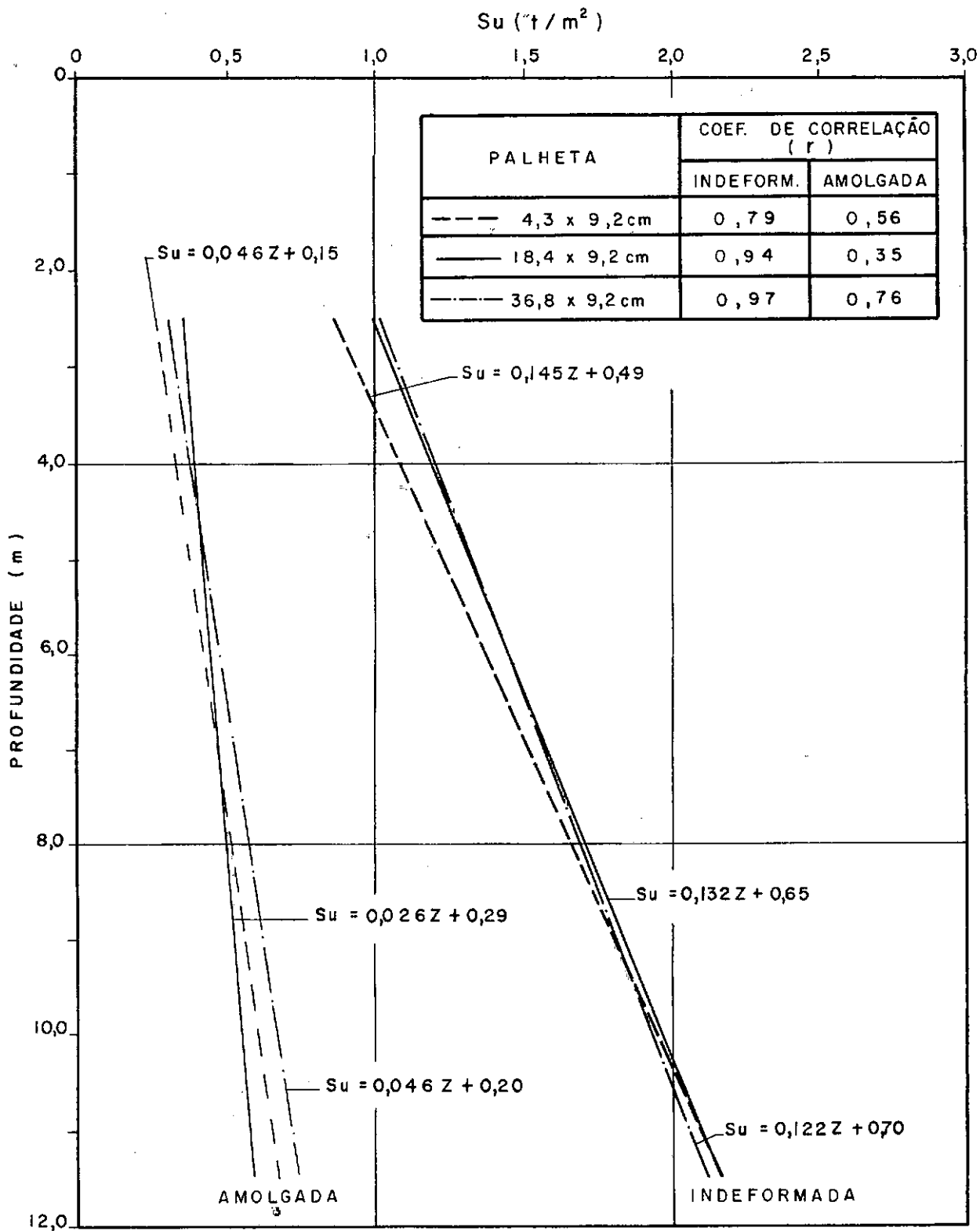


FIGURA 6-19— VARIÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.
RETAS OBTIDAS POR REGRESSÃO.
LOCAL: MAGÉ

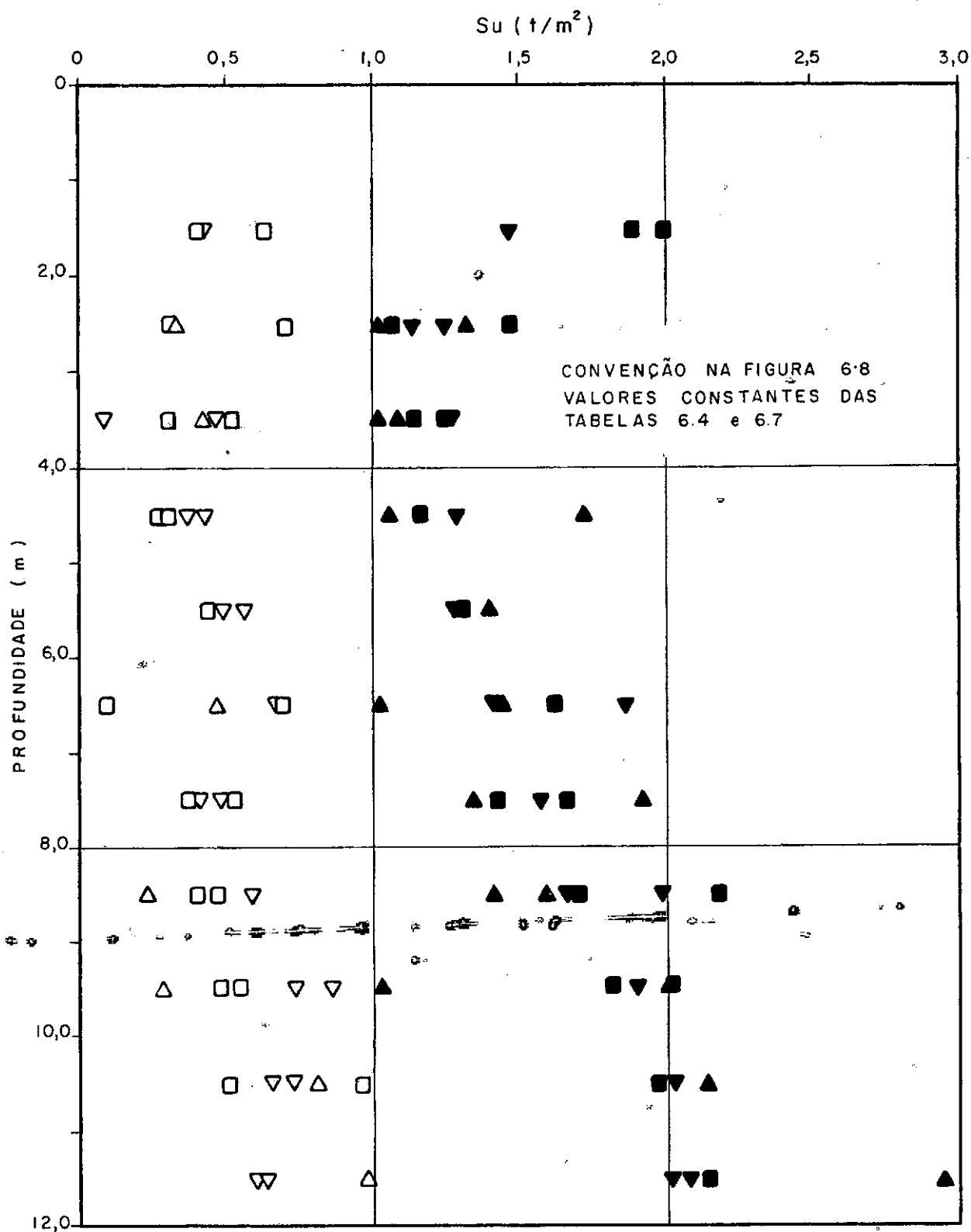


FIGURA 6.20- VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

VALORES OBTIDOS CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.

LOCAL: MAGÉ

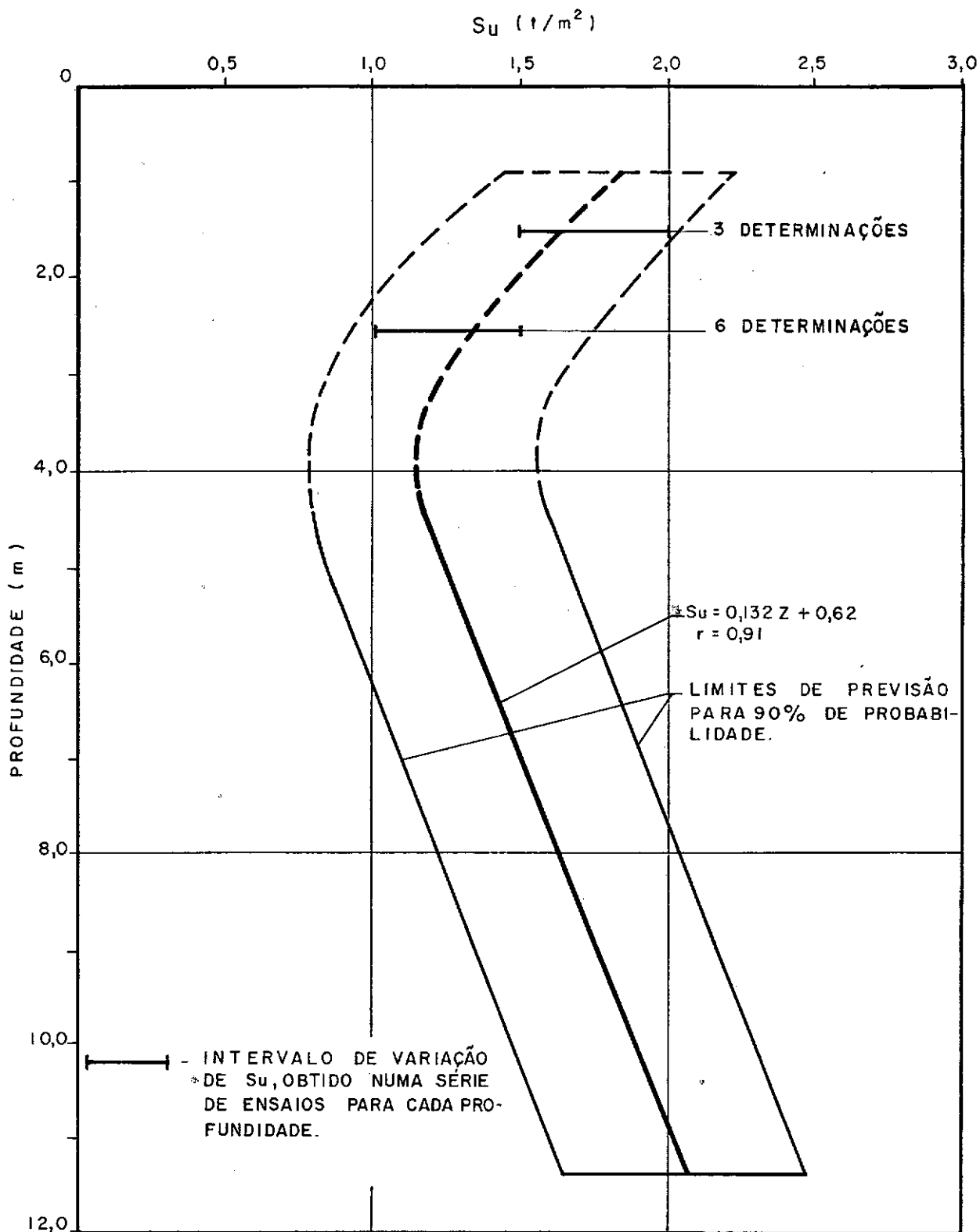


FIGURA 6-21 — VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE.

RETA DE REGRESSÃO E REGIÃO DE PREVISÃO CONSIDERANDO-SE TODOS OS ENSAIOS.
 LOCAL: MAGÉ

palhetas.

Fazem parte também, deste conjunto de figuras, indicações quanto às correlações lineares obtidas (retas de regressão e coeficiente de correlação), bem como intervalos de previsão com 90% de probabilidade de ocorrência, para valores experimentais da resistência não drenada da argila indeformada.

Estes gráficos e as diversas determinações deles provenientes (reta de regressão, coeficientes de correlação, etc.) foram obtidos com os valores das tabelas 6.4 a 6.9.

Conforme relatado acima, os valores acompanhados de asteriscos não foram utilizados.

Na figura 6.9, referente ao depósito do Sarapuí é apresentado o intervalo de variação de S_u para uma série de furos nos quais foram executados ensaios nas profundidades de 1,0m, 1,5m e 2,0m, de modo a se determinar a resistência da crosta.

Tendo em vista a realização destes ensaios na camada superior do depósito argiloso, observa-se que a dispersão de valores de S_u foi bem maior que os obtidos no trecho do depósito em que os valores de resistência são crescentes com a profundidade.

Os gráficos da figura 6.22 indicam a variação dos valores de sensibilidade das argilas do Sarapuí, Alcântara e Magé com a profundidade. Estes valores foram determinados dividindo-se a média das resistências não drenada de argila indeformada, pela média das resistências não drenada da argila "amolgada" para cada uma das profundidades ensaiadas.

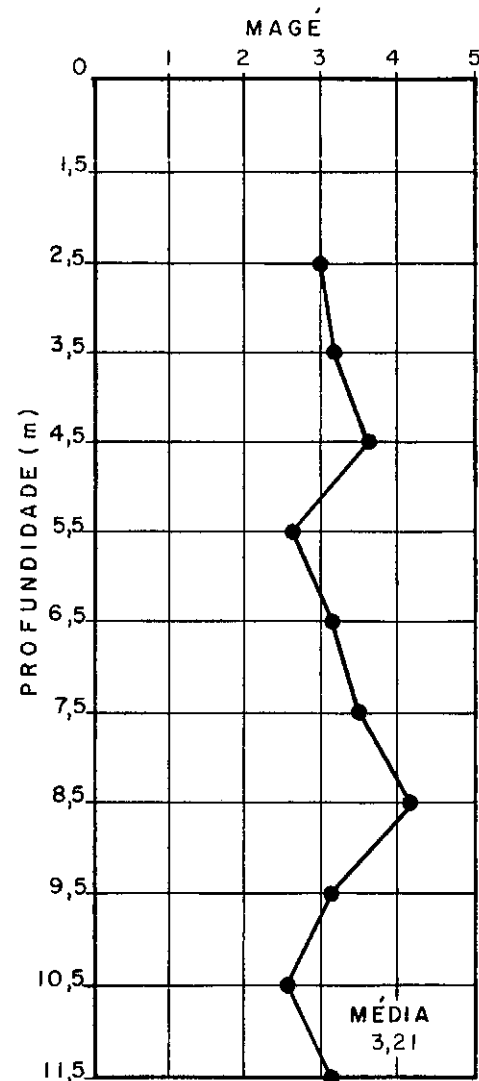
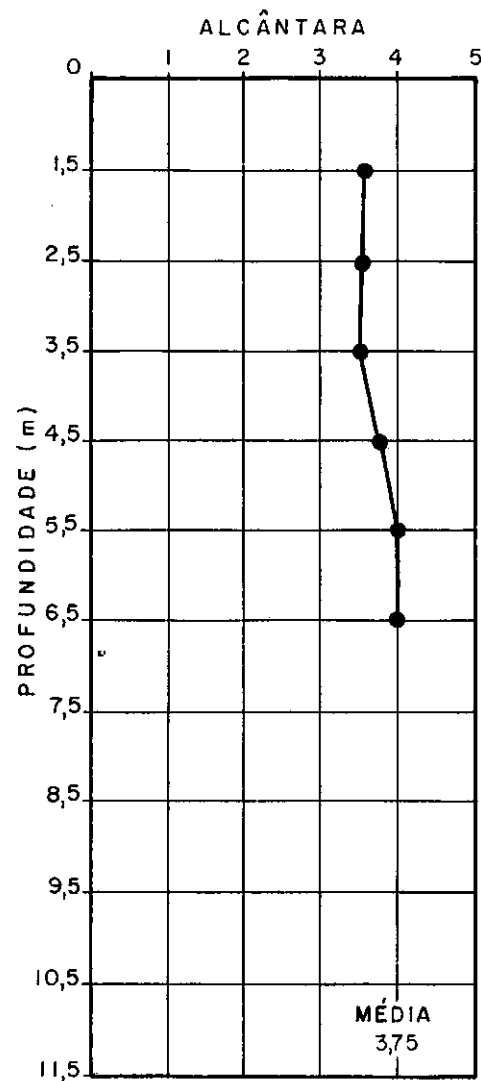
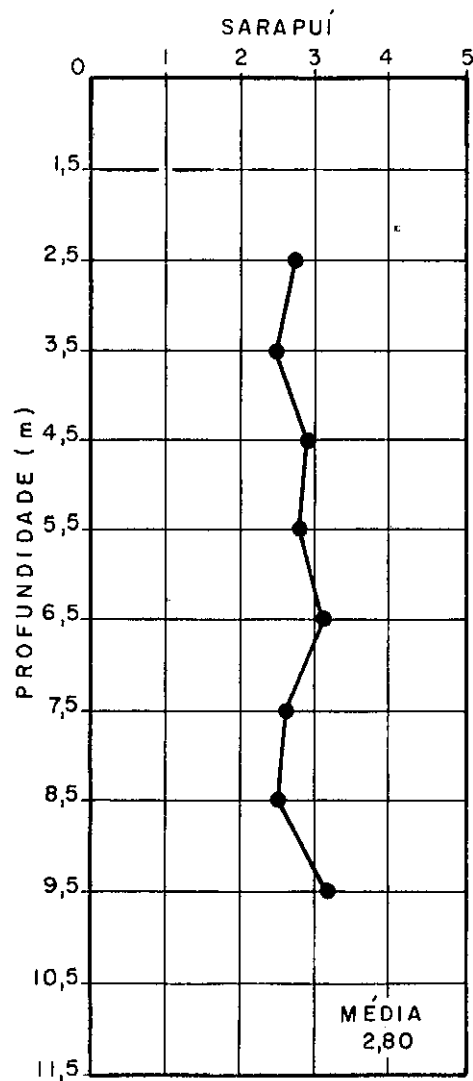


FIGURA 6-22-VALORES DE SENSIBILIDADE DAS ARGILAS, DETERMINADOS POR ENSAIOS DE PALHETA.

7 - ESTUDO DE ANISOTROPIA

Os fatores que influem na anisotropia quanto à resistência ao cisalhamento, podem ser grupados em duas categorias, a saber:

- a) os que originam uma anisotropia inerente ao solo, que depende exclusivamente da estrutura do mesmo. São mais importantes em argilas fissuradas, argilas estratificadas ou em depósitos com inclusão de lentes siltosas;
- b) os que originam uma anisotropia induzida pelo estado de tensão existente no solo. São estes fatores o valor e a direção das tensões de consolidação do solo e o valor e a direção das tensões principais atuantes.

O estudo da anisotropia da resistência ao cisalhamento tem sido uma grande preocupação dos pesquisadores nestes últimos anos, tanto através de ensaios de laboratório, como de ensaios de campo.

Através dos resultados obtidos de Ensaio de Palheta, a anisotropia de resistência não drenada, foi determinada nesta pesquisa pelos métodos de Aas (1965) e de Wiesel (1973), conforme descrição no item 3.4.

Na verdade, estes dois métodos são idênticos, diferindo apenas no tocante aos valores de Sh e Sv que são levados em consideração na determinação da anisotropia. Ao método de Aas

interessa apenas os valores de S_h e S_v correspondentes ao ângulo em que ocorre o valor de S_u máximo. Ao processo de Wiesel no entanto interessa a variação de valores de S_h e S_v com o ângulo de rotação, separadamente. Os valores obtidos de S_h/S_v pelos dois processos acima descritos poderão ser bem próximos, caso os ângulos de ocorrência de valores de S_h e S_v máximos sejam aproximadamente iguais ao ângulo correspondente ao S_u máximo.

Nada impede, no entanto, que se obtenha, fugindo do enfoque original dado pelos dois autores, valores de S_h e S_v variando com o ângulo de rotação aplicando o processo de Aas, bem como, estes valores relativos a um S_u máximo, pelo processo de Wiesel.

Neste trabalho a citação de cada um dos processos refere-se ao procedimento original conforme publicado por Aas (1965) e Wiesel (1973).

As combinações de palhetas utilizadas estão apresentadas na tabela 7.1.

TABELA 7.1 - DIMENSÕES DAS PALHETAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA DE S_u

Local	Dimensões da Palheta (cm)		
Sarapuí	10,2 x 5,1	18,4 x 9,2	36,8 x 9,2
Alcântara	4,6 x 9,2	18,4 x 9,2	36,8 x 9,2
Magé	4,6 x 9,2	18,4 x 9,2	36,8 x 9,2

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AAS

Os valores de Sh e S_v , pelo método de Aas, foram obtidos através do gráfico da figura 3.8 com três pontos marcados e reta obtida por regressão.

Cada ponto marcado representa o valor de $2M/\pi D^2 H$ médio de dois ensaios (ou três ensaios no Sarapuí) para a respectiva profundidade.

Determinou-se também o valor de Sh/S_v considerando o momento médio para todo o depósito, obtido com cada uma das paletas utilizadas. Esta maneira aliás, está mais consoante com o originalmente efetuado por Aas (1963) que não cogitou na determinação de anisotropia de S_u para cada profundidade.

As tabelas 7.2 a 7.4 apresentam os valores de $2M/\pi D^2 H$, π , Sh , S_v coeficiente de correlação linear e Sh/S_v , para cada profundidade e médias para os três depósitos pesquisados.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE WIESEL

Os valores de Sh e S_v pelo método de Wiesel foram obtidos através do gráfico da figura 3.9 com três pontos marcados e reta obtida na regressão linear.

Cada ponto marcado neste gráfico representa o valor médio de \underline{M} entre dois ensaios (três no Sarapuí) para cada profundidade. A variação do momento \underline{M} , embora obtida durante os ensaios a cada dois graus, foi transformada em variação a cada grau de interpolação.

TABELA 7.2 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NÃO DRENADA
PROCESSO DE AaS
LOCAL SARAPUI

Profun- didade (m)	Valores de $\frac{2M_{\text{máx}}}{\pi D^2 H}$ (t/m ²)			Valores de Resistência			Sh/Sv
	Palheta 4,6cm x 9,2cm	Palheta 18,4cm x 9,2cm	Palheta 36,8cm x 9,2cm	Sh (t/m ²)	Sv (t/m ²)	r	
	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,67$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,17$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,083$				
3,50	1,07	0,84	0,84	0,41	0,79	0,98	0,52
4,50	1,17	0,96	0,83	0,52	0,82	0,96	0,63
5,50	1,40	0,94	0,97	0,80	0,86	0,98	0,93
6,50	1,66	1,26	1,16	0,83	1,10	0,99	0,75
7,50	1,53	1,06	1,17	0,72	1,03	0,93	0,70
8,50	1,91	1,31	1,41	0,97	1,24	0,96	0,78
9,50	2,35	1,38	1,62	1,48	1,33	0,93	1,11
Média	1,58	1,11	1,14	0,81	1,02	0,98	0,79

Obs.: Valor Médio de Sh/Sv = 0,77

TABELA 7.3 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NÃO DRENADA
 PROCESSO DE AaS
 LOCAL ALCANTARA

Profun- didade (m)	Valores de $\frac{2M_{\max}}{\pi D^2 H}$ (t/m ²)			Valores de Resistência			Sh/Sv
	Palheta 4,6cm x 9,2cm	Palheta 18,4cm x 9,2cm	Palheta 36,8cm x 9,2cm	Sh (t/m ²)	Sv (t/m ²)	r	
	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,67$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,17$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,083$				
4,50	2,00	1,23	1,37	1,23	1,15	0,95	1,07
5,50	2,22	1,30	1,28	1,68	1,08	0,99	1,55
6,50	2,86	1,46	1,73	2,22	1,33	0,95	1,67
Média	2,36	1,33	1,46	1,71	1,19	0,96	1,43

Obs.: Valor Médio de Sh/Sv = 1,43

TABELA 7.4 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NÃO DRENADA
PROCESSO DE AaS
LOCAL MAGÉ

Profun- didade (m)	Valores de $\frac{2M_{\text{m\acute{a}x}}}{\pi D^2 H}$ (t/m ²)			Valores de Resist\ecencia			Sh/Sv
	Palheta 4,6cm x 9,2cm	Palheta 18,4cm x 9,2cm	Palheta 36,8cm x 9,2cm	Sh (t/m ²)	Sv (t/m ²)	r	
	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,67$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,17$	$\frac{1}{3} \frac{D}{H} = 0,083$				
4,50	2,33	1,31	1,30	1,85	1,08	0,99	1,71
5,50	2,34	1,54	1,45	1,54	1,30	0,99	1,18
6,50	2,05	1,89	1,77	0,42	1,77	0,95	0,24
7,50	2,73	1,80	1,71	1,78	1,53	0,99	1,16
8,50	2,51	2,26	1,98	0,76	2,01	0,91	0,38
9,50	2,52	2,24	2,07	0,69	2,06	0,96	0,33
10,50	3,56	2,31	2,20	2,38	1,96	0,99	1,21
M\ecedia	2,58	1,91	1,78	1,35	1,67	0,99	0,81

Obs.: Valor Médio de Sh/Sv = 0,89

Conforme se verifica da tabela 7.1 a aplicação deste processo para o depósito de Sarapuí é de alguma maneira incorreto, pois a palheta menor possui diâmetros diferentes das outras duas. Mesmo assim optou-se pela sua aplicação de maneira aproximada.

Foi elaborado um programa para cálculo automático pelo computador Burroughs B-6700 da UFRJ. Este programa a partir dos valores de momentos obtidos a cada dois graus de rotação da palheta em cada ensaio, ajusta-os no trecho ascendente do gráfico momento x ângulo de rotação da palheta a pontos de uma reta, por interpolação, calcula-os para variação de ângulo de rotação de grau em grau, aplica a correção angular indicada no capítulo 6 e obtém os valores de Sh e Sv por regressão linear.

A tabela 7.4, exemplifica uma "saída" de resultados, conforme listagem obtida no computador da UFRJ.

Com estes resultados traçou-se as curvas Sh ou Sv x ângulo de rotação corrigido, que estão apresentados nas figuras 7.1 a 7.17.

As tabelas 7.5 a 7.7 apresentam os valores máximos de Sh e Sv , extraídos das curvas em que são relacionadas com o ângulo de rotação, os ângulos para os quais ocorreram e os respectivos valores de Sh/Sv para cada profundidade.

Devido à correção de atrito algumas curvas Sh ou Sv x ângulo de rotação corrigido apresentaram trechos com valores negativos.

Fez-se uma nova correção angular, contando-se a nova origem a partir de um valor nulo. Assim, os valores dos ângulos

TABELA 7.4 - EXEMPLO DE TABELA OBTIDA DO COMPUTADOR PARA DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA

LOCAL: SARAPUI

PELO PROCESSO DE WIESEL

PROFUNDIDADE: 6,5m

REFER. FIG. 7.4

Ângulo	H = 4.60 (cm)	H = 18.42 (cm)	H = 36.84 (cm)	mv (kg.cm)	2Mh (kg.cm)	Sv (t/m ²)	Sh (t/m ²)
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	8.822	289.921	11.589	-0.873	120.621	-0.066	2.950
2.00	40.129	342.632	23.996	-1.584	166.737	-0.119	4.078
3.00	82.056	373.761	35.517	-2.571	214.350	-0.193	5.243
4.00	115.038	372.785	98.675	-1.438	223.776	-0.108	5.474
5.00	138.657	370.493	151.426	-0.367	227.409	-0.028	5.562
6.00	146.000	362.800	203.815	1.203	213.882	0.090	5.232
7.00	146.000	355.107	348.254	6.097	163.214	0.458	3.992
8.00	144.500	349.096	464.099	10.067	121.248	0.756	2.966
9.00	142.322	343.720	546.387	12.924	89.962	0.970	2.200
10.00	140.802	338.344	582.640	14.211	74.452	1.067	1.821
11.00	139.609	332.968	604.049	14.987	64.136	1.125	1.569
12.00	138.416	327.592	592.427	14.650	64.701	1.100	1.583
13.00	137.610	322.216	579.269	14.249	66.132	1.070	1.618
14.00	137.012	318.827	566.112	13.835	68.552	1.039	1.677
15.00	136.414	315.521	550.871	13.351	71.692	1.003	1.754
16.00	134.549	312.215	535.612	12.905	73.662	0.969	1.802
17.00	131.980	308.910	520.353	12.480	74.978	0.937	1.834
18.00	129.472	305.604	507.526	12.135	75.550	0.911	1.848
19.00	127.001	302.742	495.384	11.810	76.108	0.887	1.862
20.00	124.531	300.299	483.242	11.484	76.835	0.862	1.879
21.00	122.978	297.856	474.610	11.249	77.257	0.845	1.890
22.00	122.081	295.413	466.274	11.003	78.192	0.826	1.913
23.00	121.185	292.970	457.938	10.758	79.126	0.808	1.935
24.00	120.289	290.426	449.771	10.519	79.965	0.790	1.956
25.00	119.393	287.461	442.610	10.315	80.302	0.775	1.964
26.00	118.552	284.495	435.450	10.109	80.692	0.759	1.974
							continua

TABELA 7.4 - EXEMPLO DE TABELA OBTIDA DO COMPUTADOR PARA DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA

LOCAL: SARAPUI

PELO PROCESSO DE WIESEL

PROFUNDIDADE: 6,5m

REFER. FIG. 7.4

Ângulo	H = 4.60 (cm)	H = 18.42 (cm)	H = 36.84 (cm)	mv (kg.cm)	2Mh (kg.cm)	Sv (t/m ²)	Sh (t/m ²)
27.00	117.755	281.530	430.056	9.961	80.540	0.748	1.970
28.00	117.234	278.564	425.370	9.829	80.410	0.738	1.967
29.00	116.934	275.599	420.684	9.961	80.487	0.728	1.969
30.00	116.635	272.910	415.923	9.549	80.699	0.717	1.974
31.00	116.335	270.292	411.004	9.401	80.992	0.706	1.981
32.00	116.036	267.673	406.098	9.254	81.279	0.695	1.988
33.00	115.627	265.054	401.491	9.120	81.368	0.685	1.990
34.00	115.128	262.435	396.883	8.989	81.373	0.675	1.990
35.00	114.629	259.738	392.275	8.858	81.346	0.665	1.990
36.00	114.023	256.945	388.142	8.746	81.025	0.657	1.982
37.00	113.326	254.152	384.255	8.646	80.538	0.649	1.970
38.00	112.522	251.359	380.741	8.562	79.830	0.643	1.953
39.00	111.626	248.566	377.690	8.495	78.883	0.638	1.929
40.00	110.730	245.968	374.638	8.429	78.014	0.633	1.908
41.00	109.782	245.572	371.692	8.359	77.946	0.628	1.907
42.00	108.787	245.176	369.161	8.306	77.697	0.624	1.900
43.00	106.589	244.780	366.642	8.289	76.323	0.622	1.867
44.00	103.243	244.384	364.287	8.312	73.838	0.624	1.806
45.00	99.897	243.934	361.933	8.335	71.326	0.626	1.745
46.00	96.685	241.847	359.578	8.360	68.284	0.628	1.670
47.00	93.630	239.761	355.516	8.323	65.948	0.625	1.613
48.00	91.640	237.674	351.225	8.246	64.678	0.619	1.582

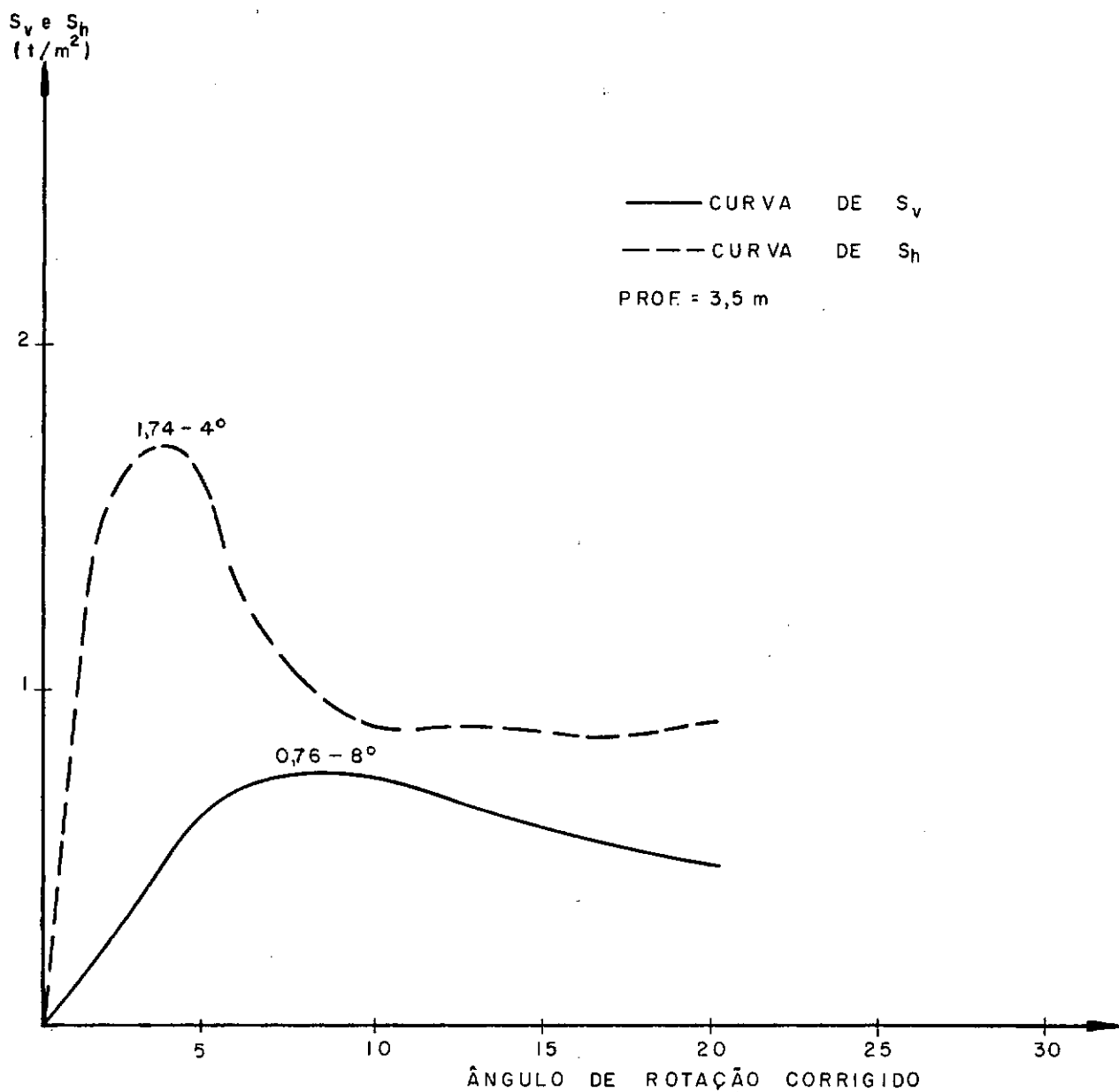


FIGURA 7.1 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO
 LOCAL: SARAPUÍ

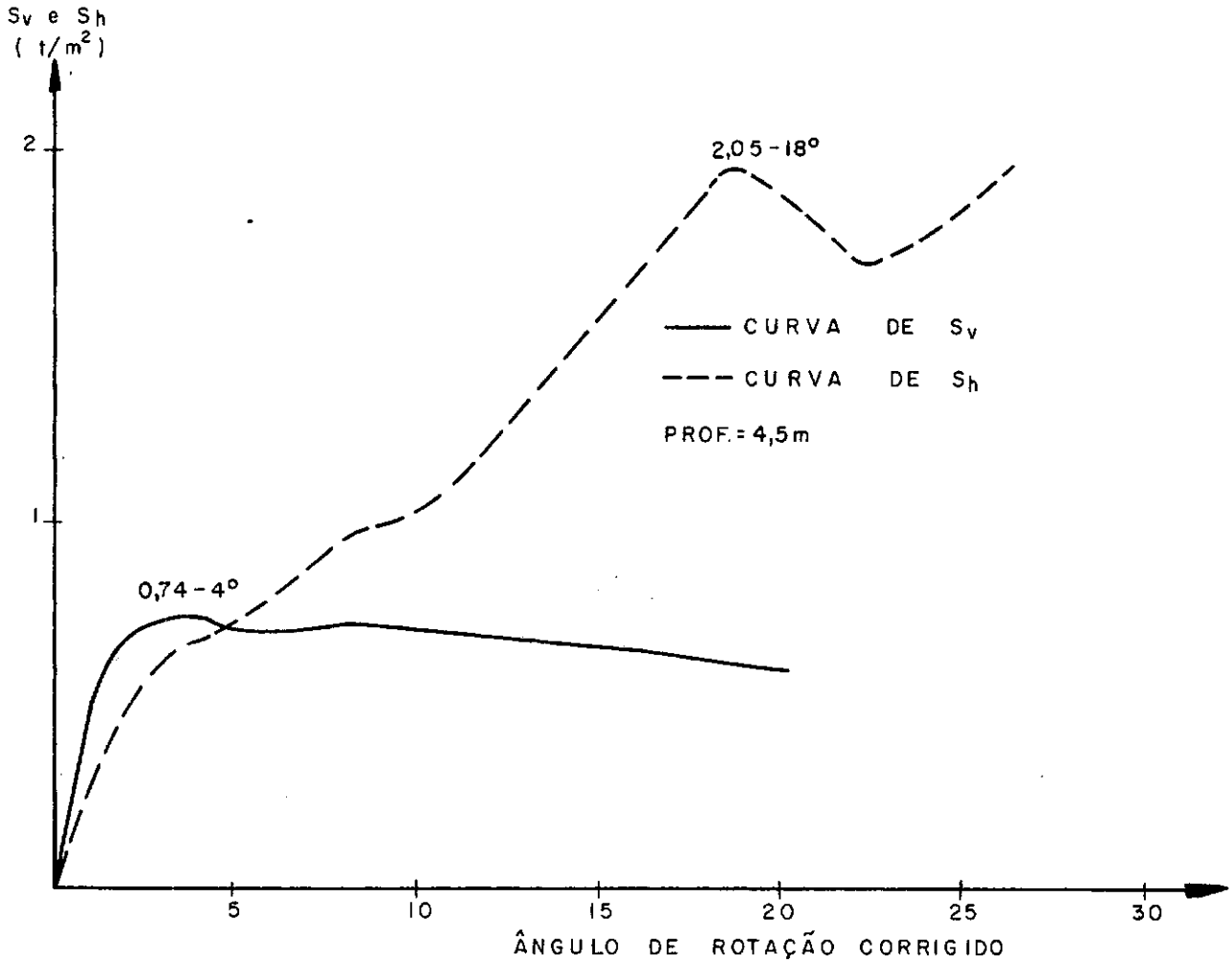


FIGURA 7.2 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO
 LOCAL: SARAPUI

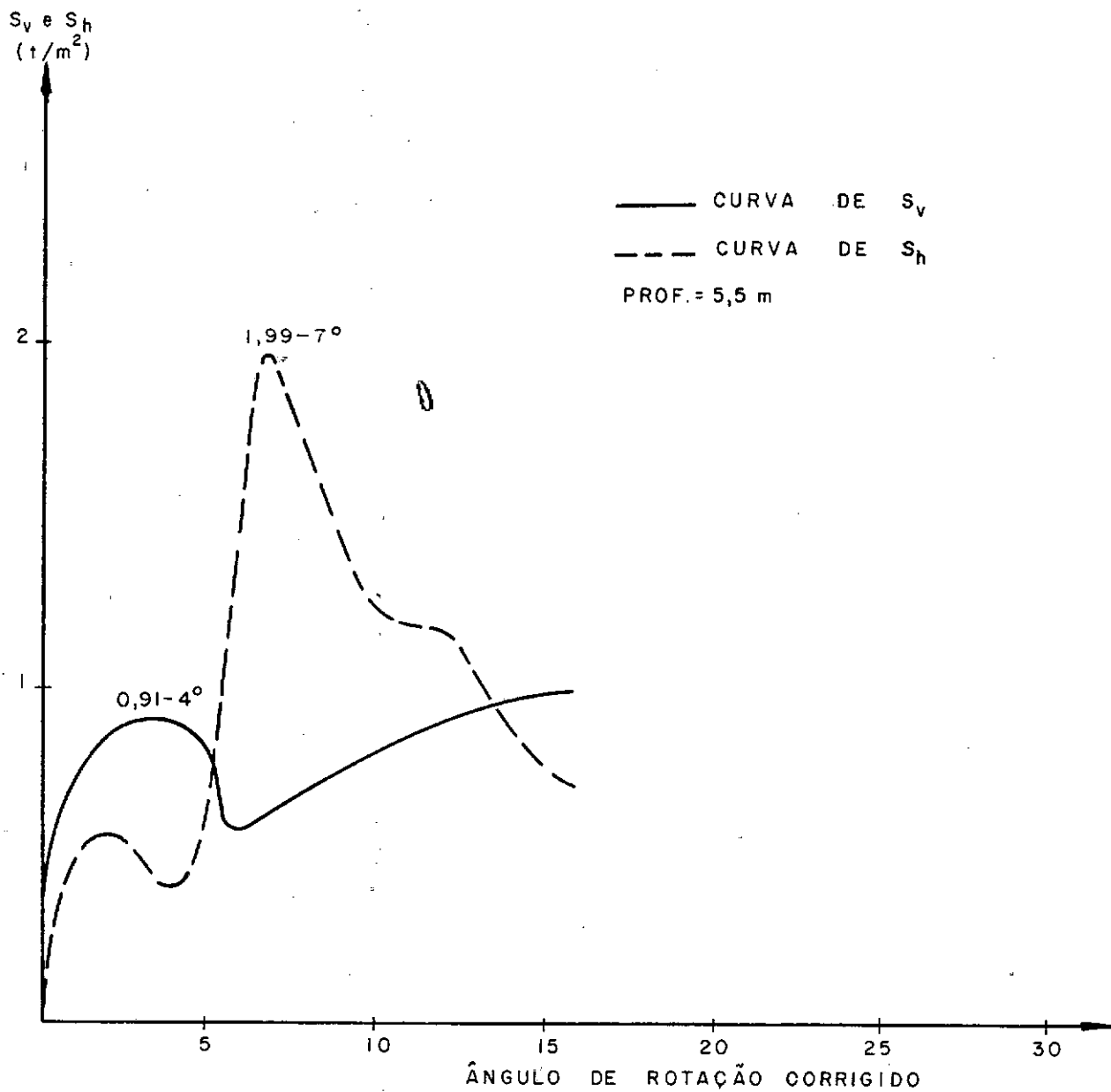


FIGURA 7.3 — CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: SARAPUI

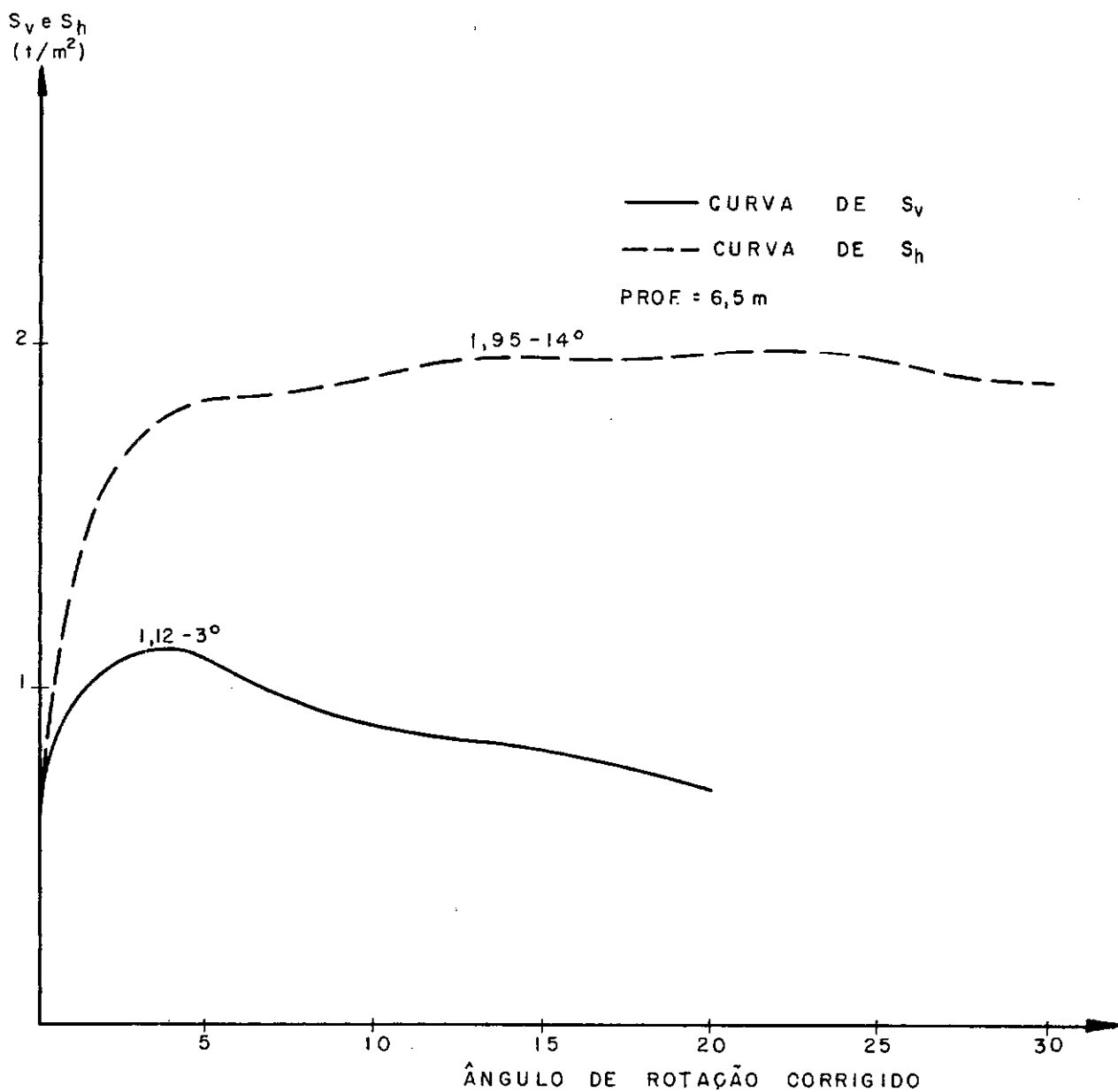


FIGURA 7.4— CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO
LOCAL: SARAPUÍ

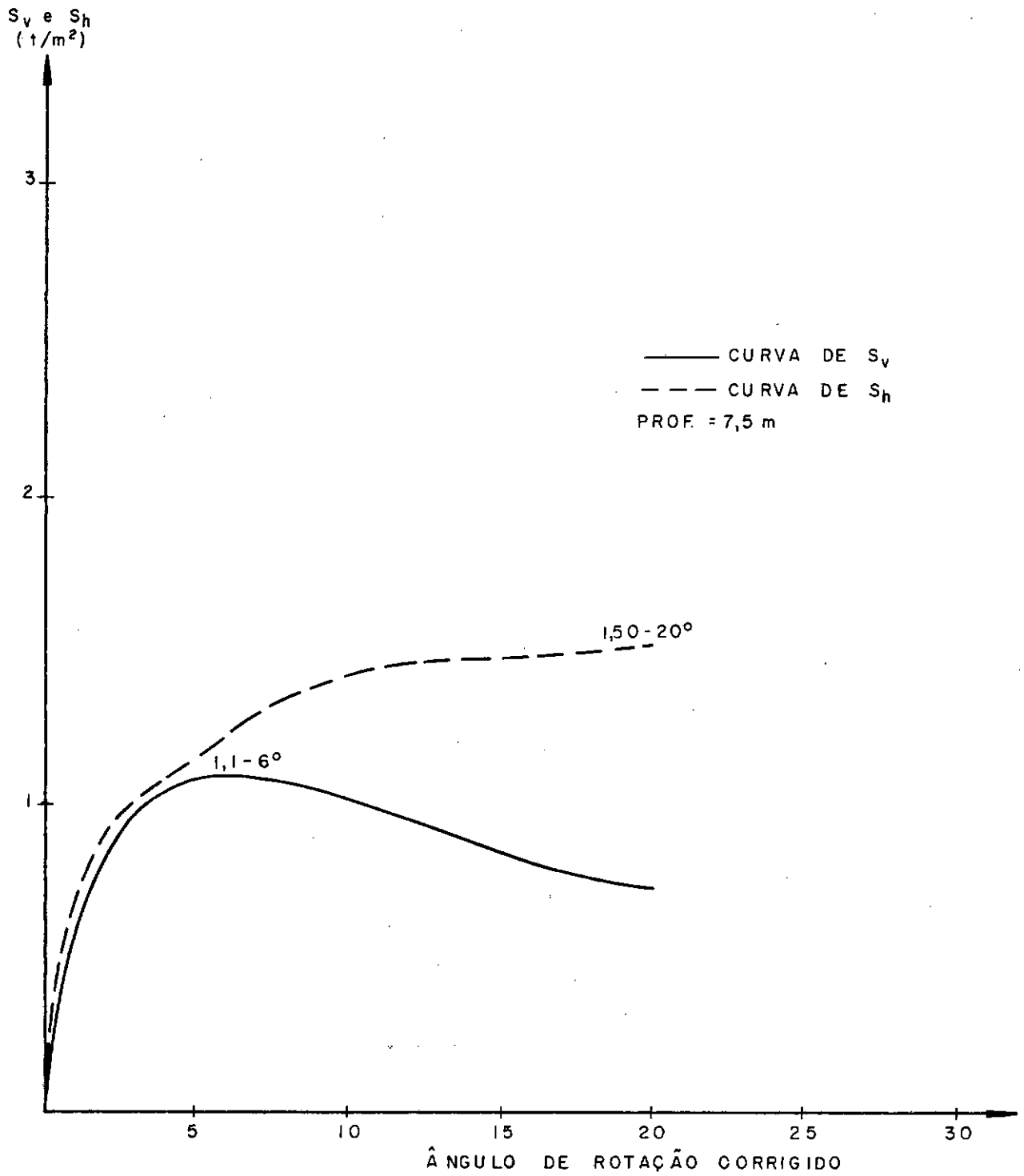


FIGURA 7.5 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: SARAPUI

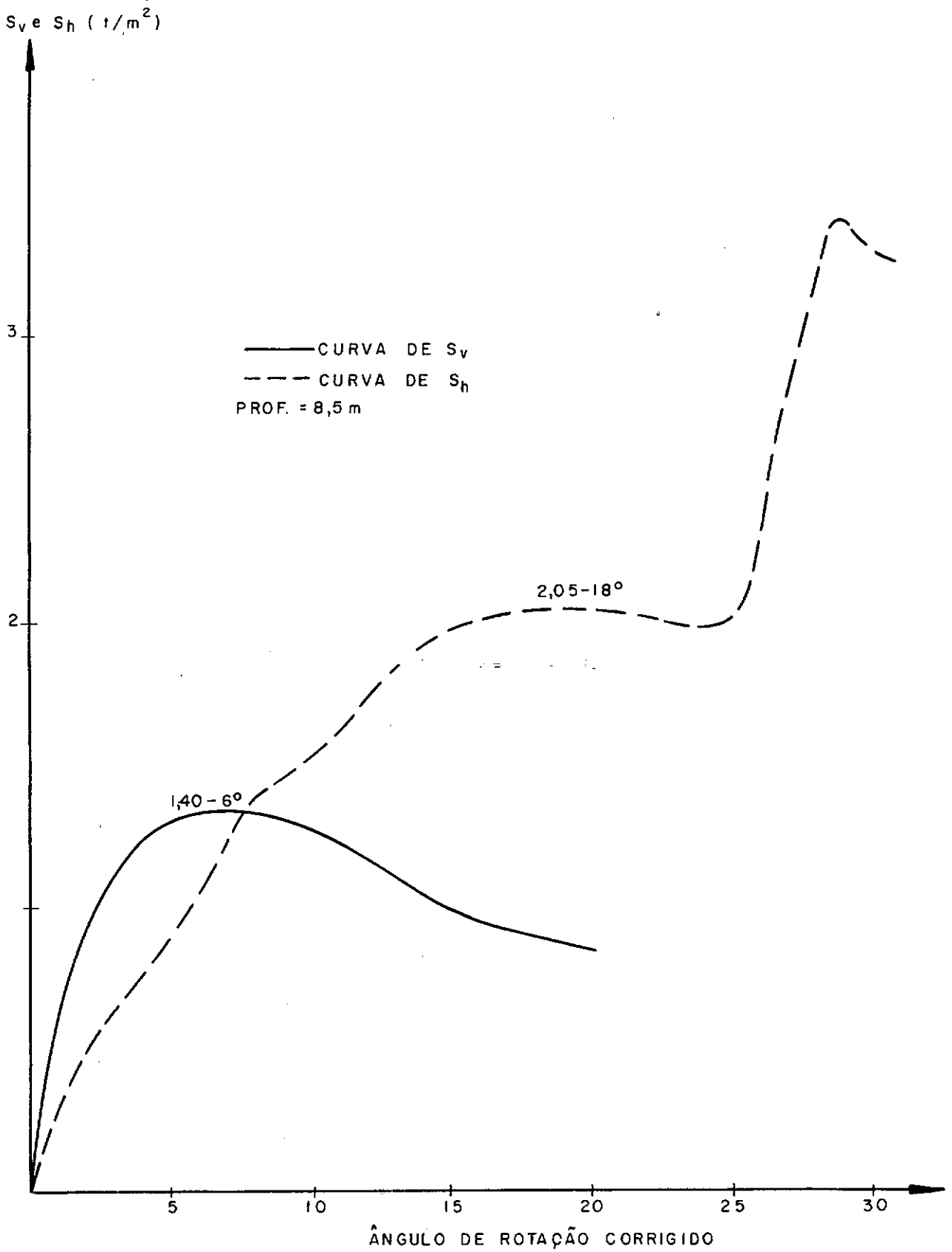


FIGURA 7.6 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: SARAPUI

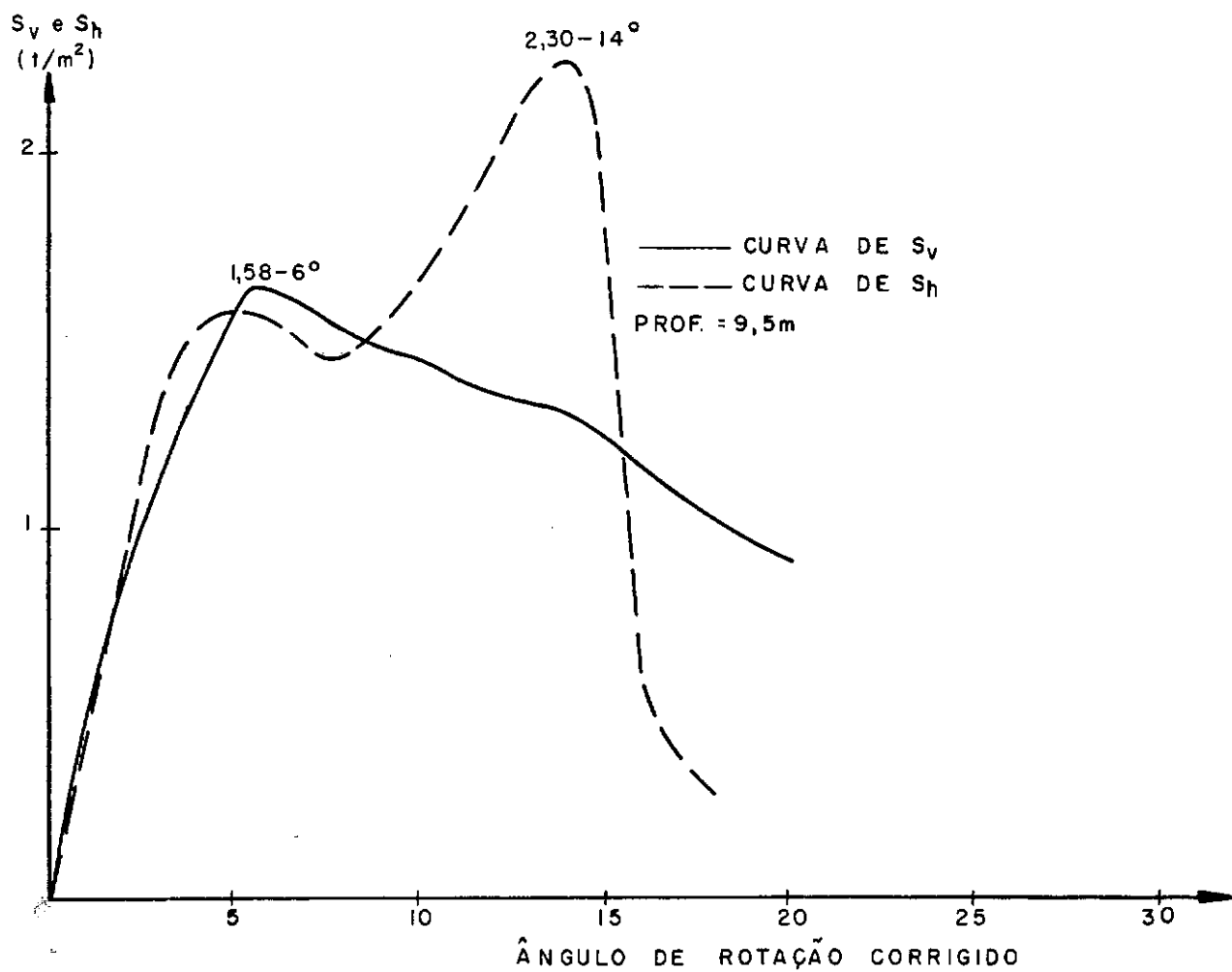


FIGURA 7.7—CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: SARAPUÍ

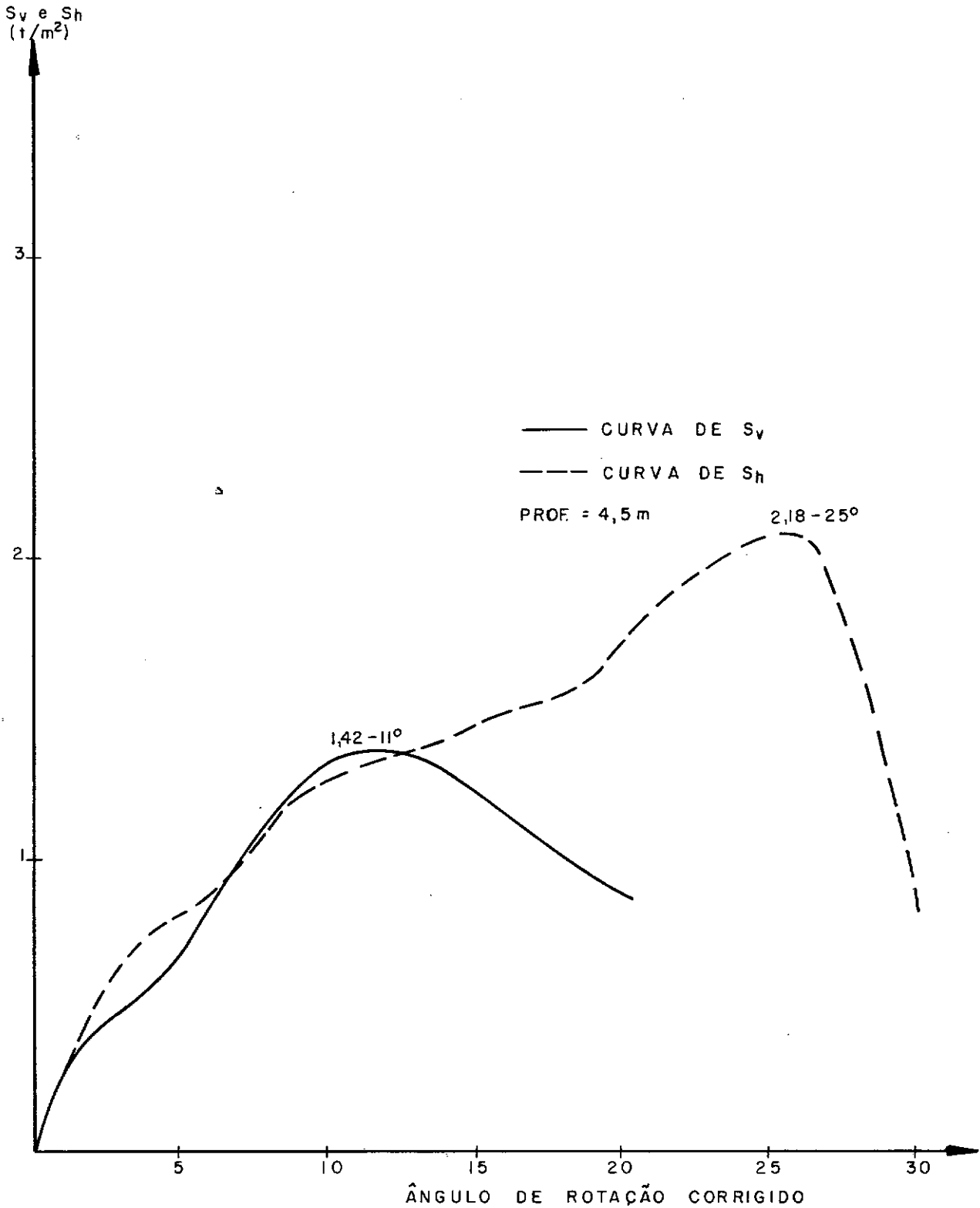


FIGURA 7.8 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: ALCÂNTARA

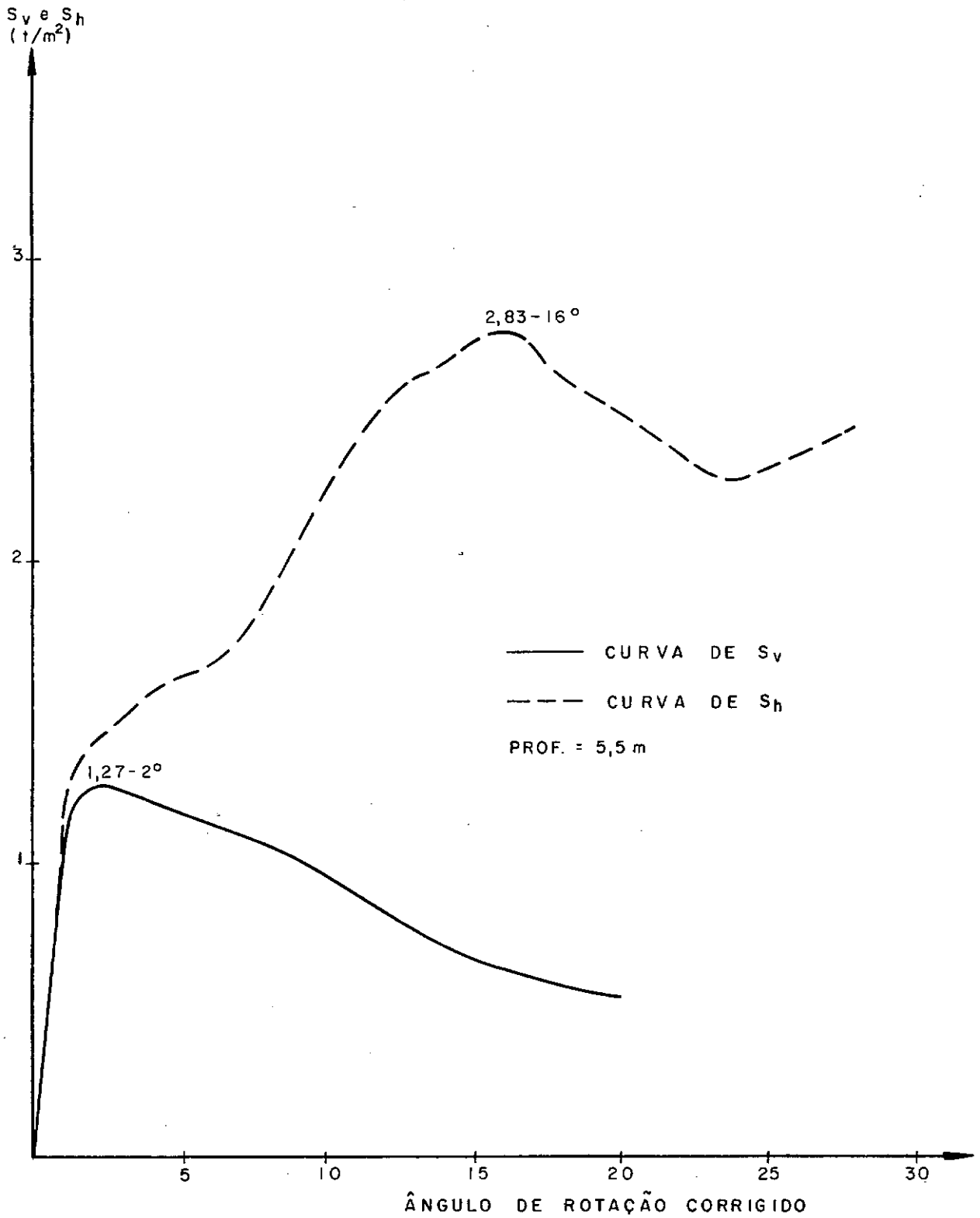


FIGURA 7.9 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO
 LOCAL: ALCÂNTARA

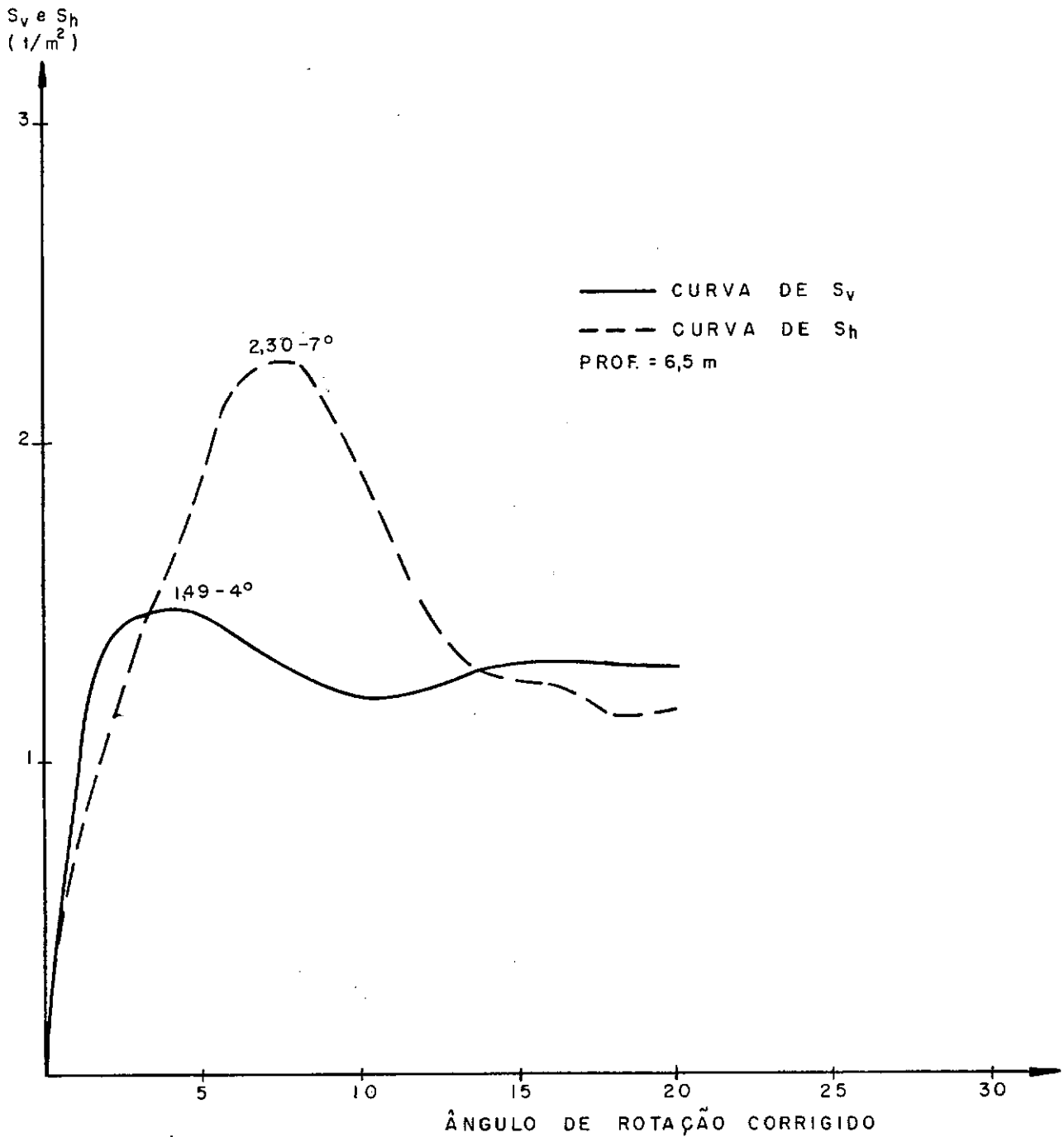


FIGURA 7.10- CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO
 CORRIGIDO
 LOCAL: ALCÂNTARA

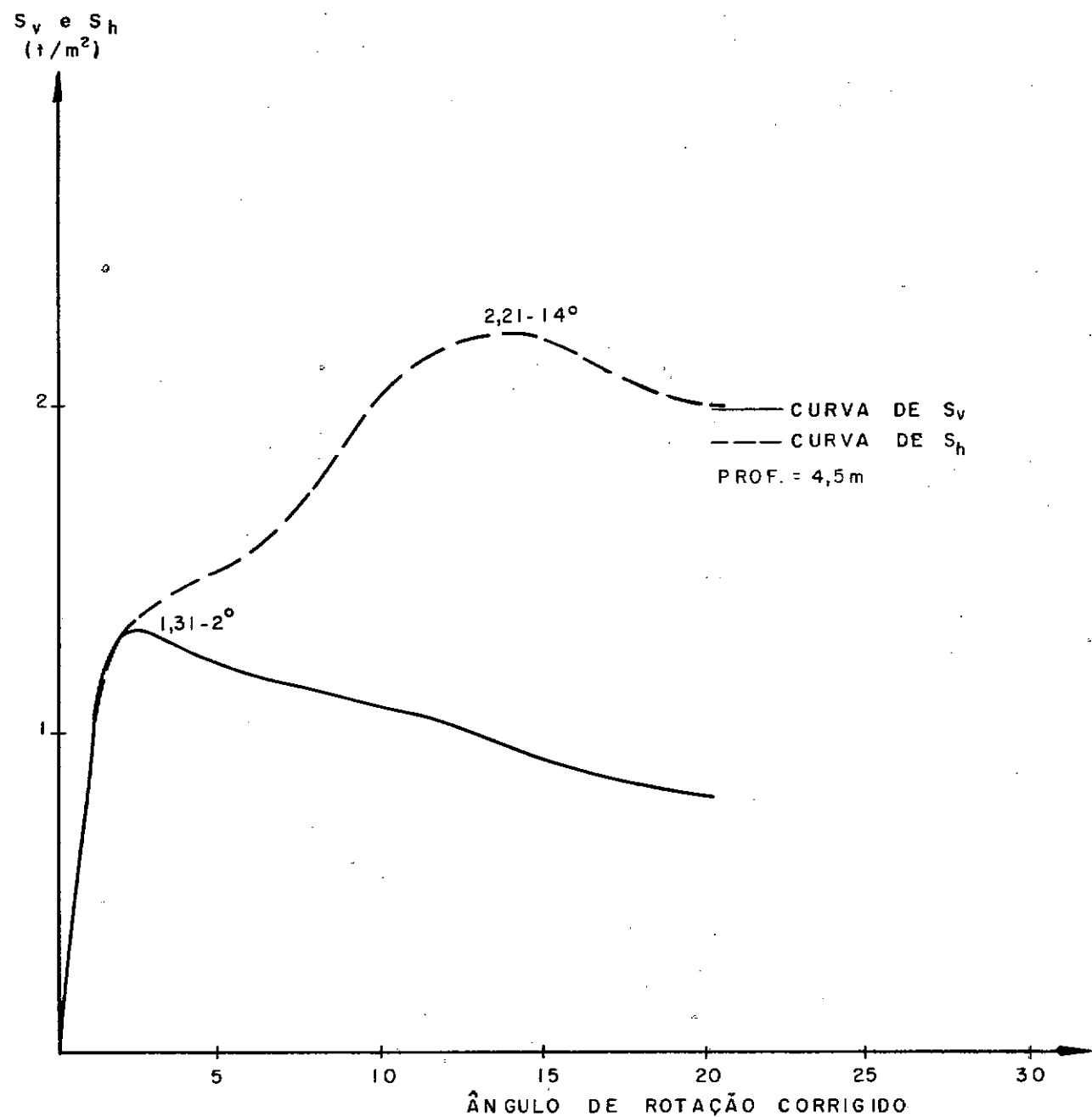


FIGURA 7.11 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: MAGE

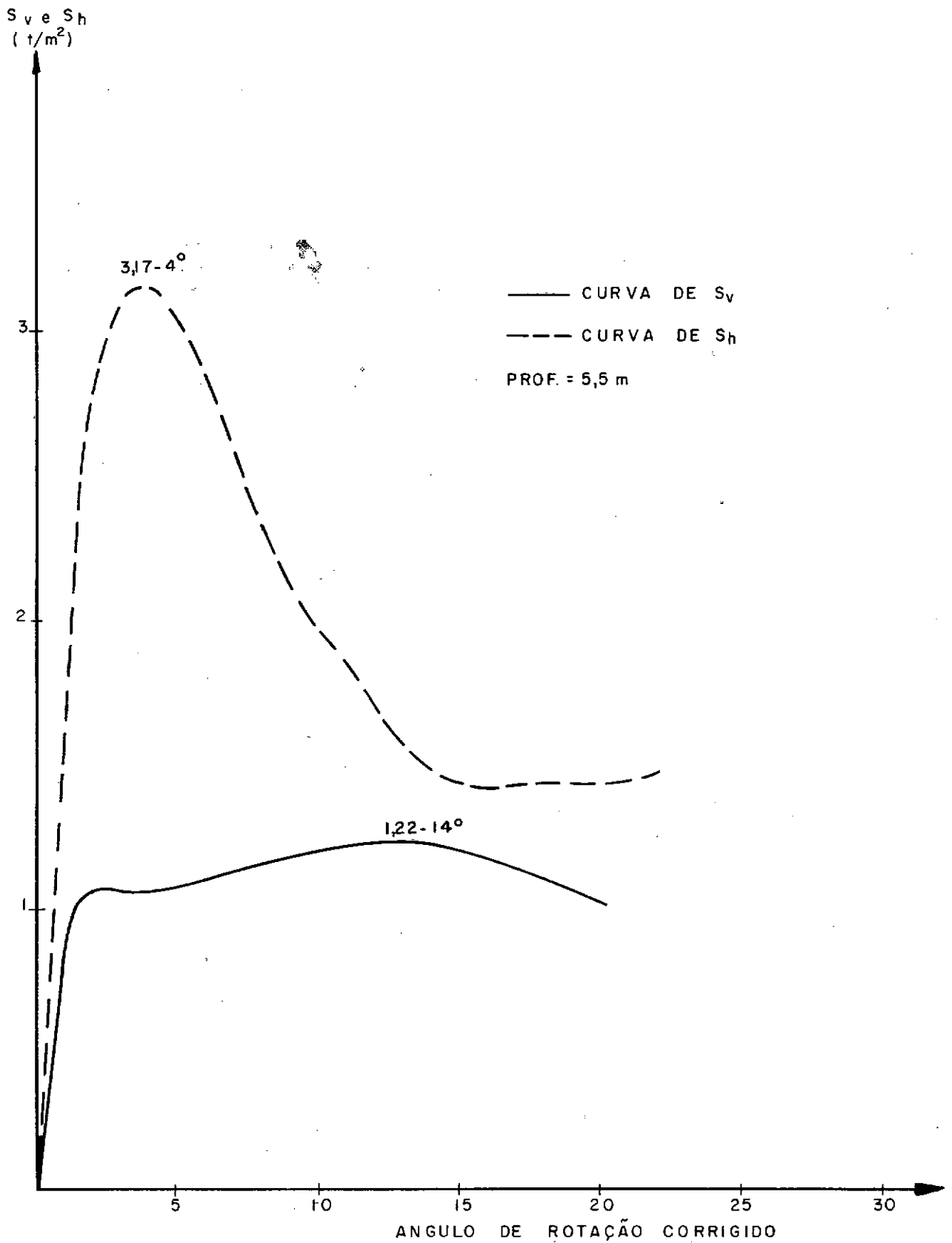


FIGURA 7.12 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: MAGÉ

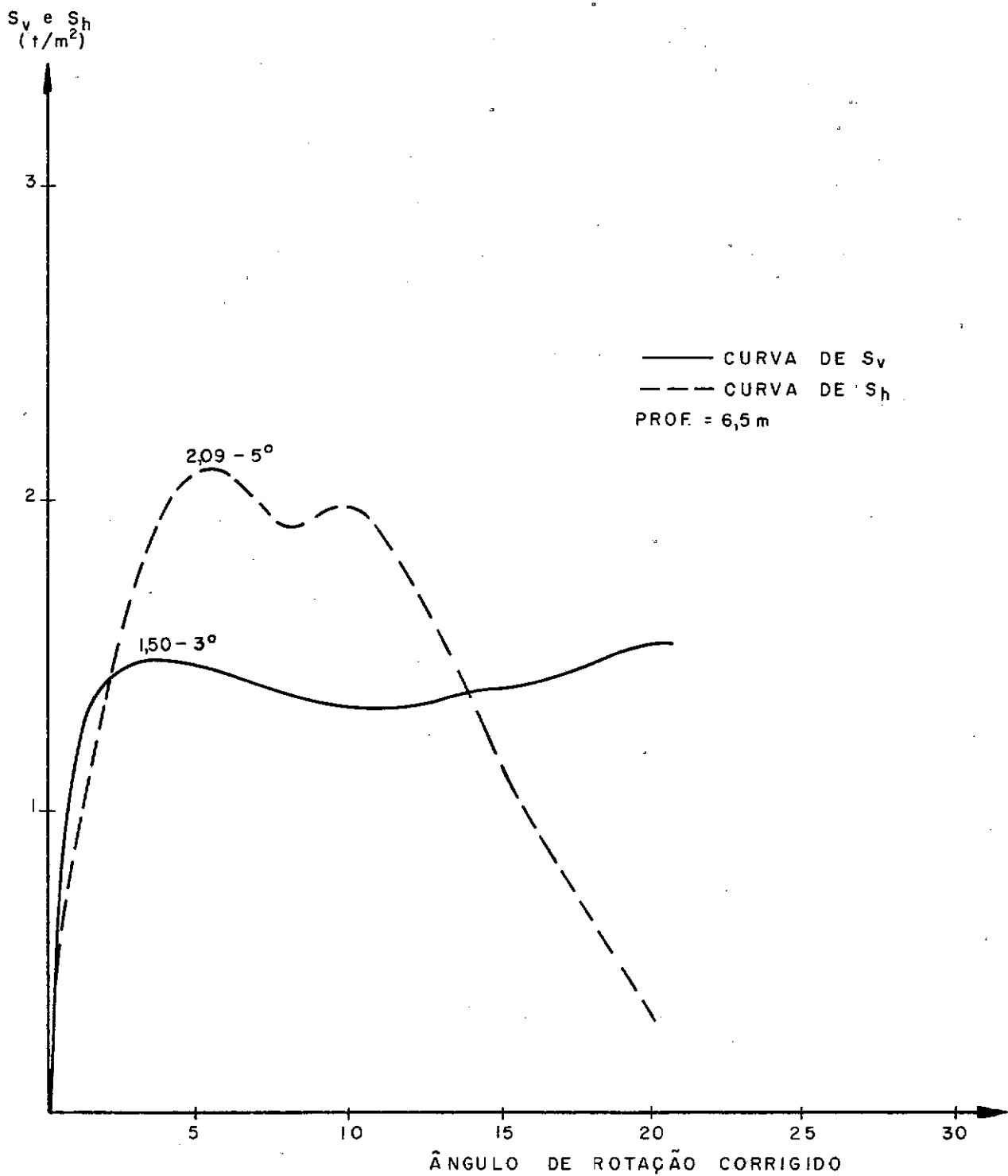


FIGURA 7.13 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: MAGÉ

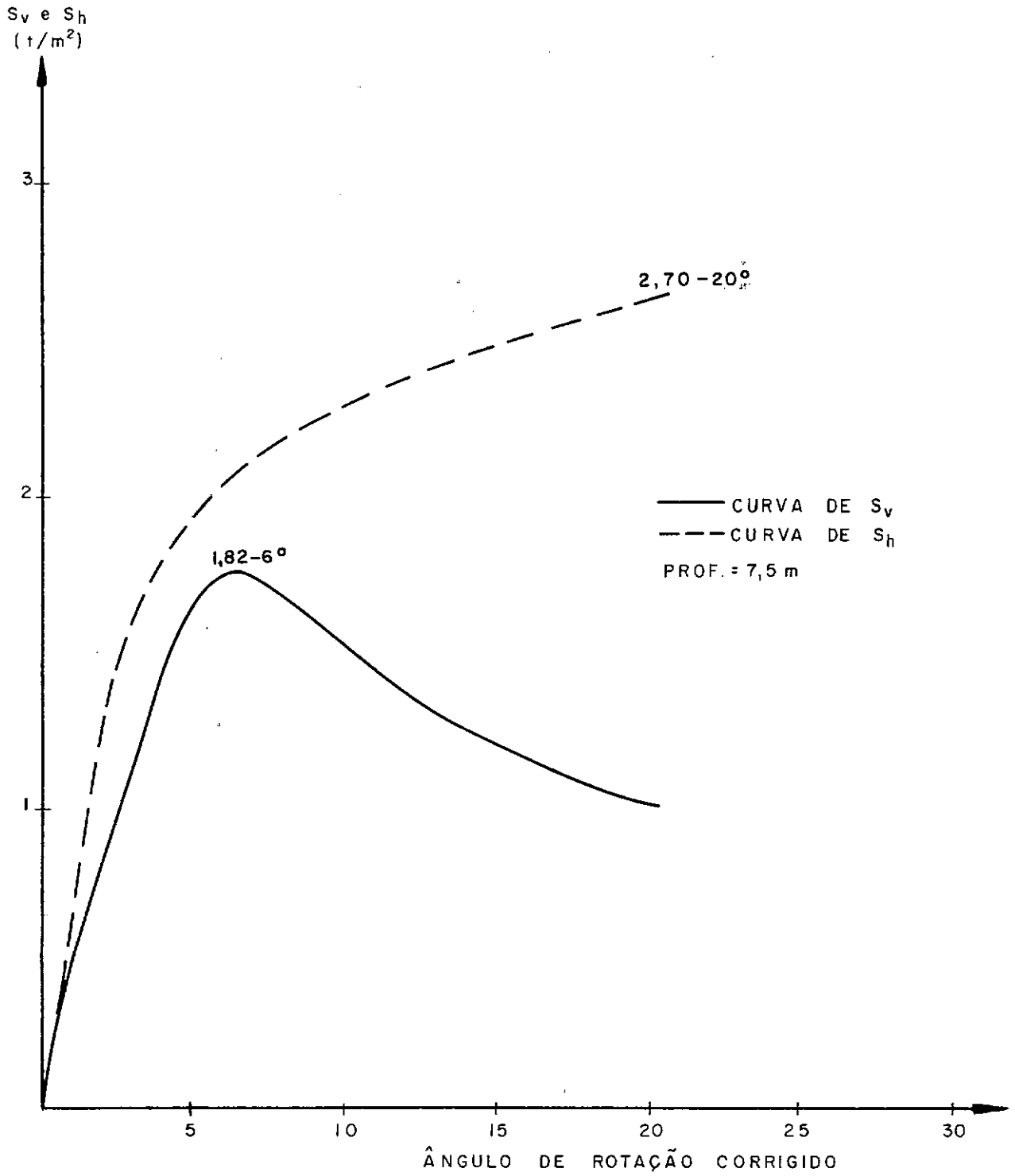


FIGURA 7-14 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: MAGÉ

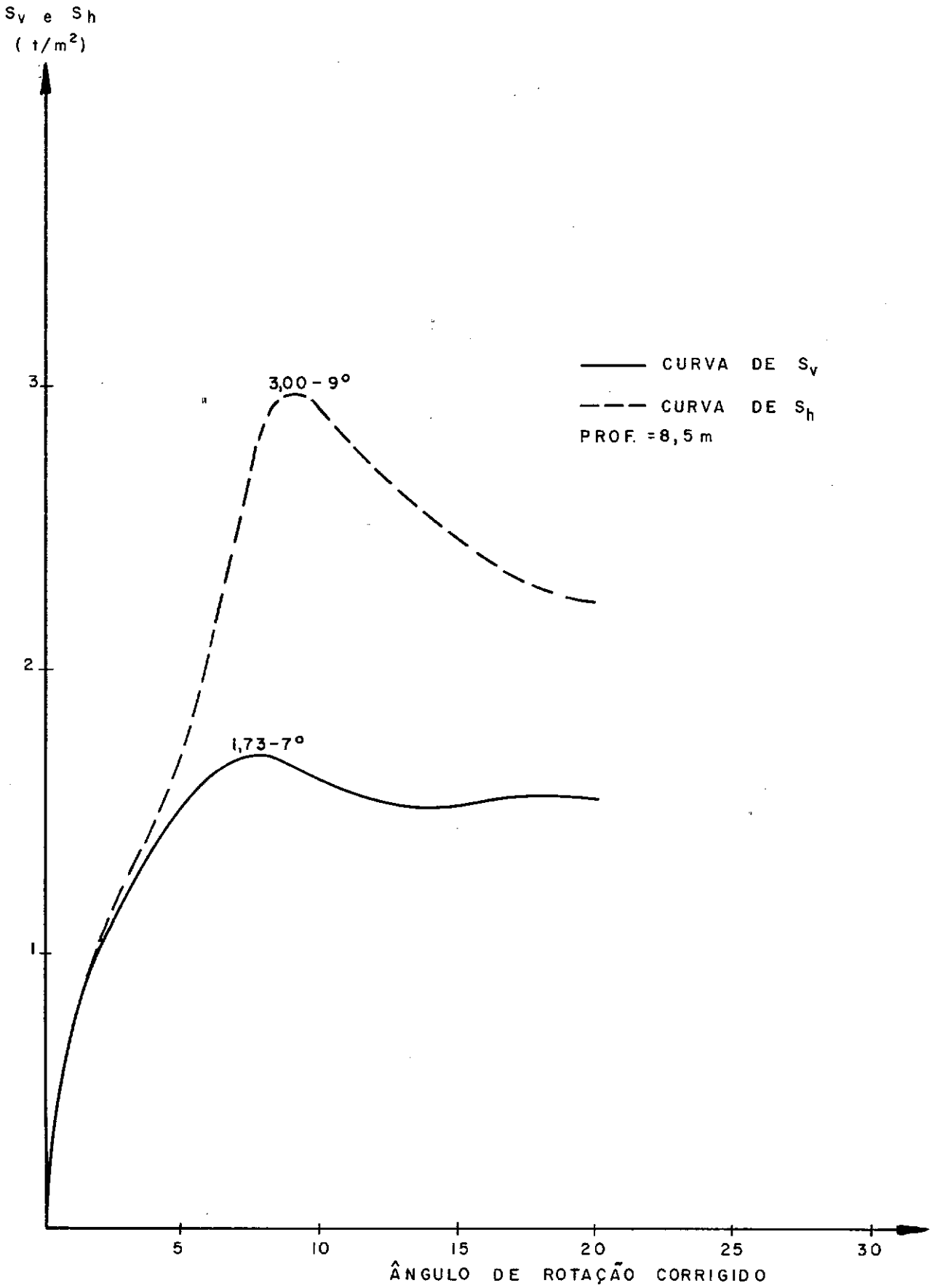


FIGURA 7.15 - CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
LOCAL: MAGÉ

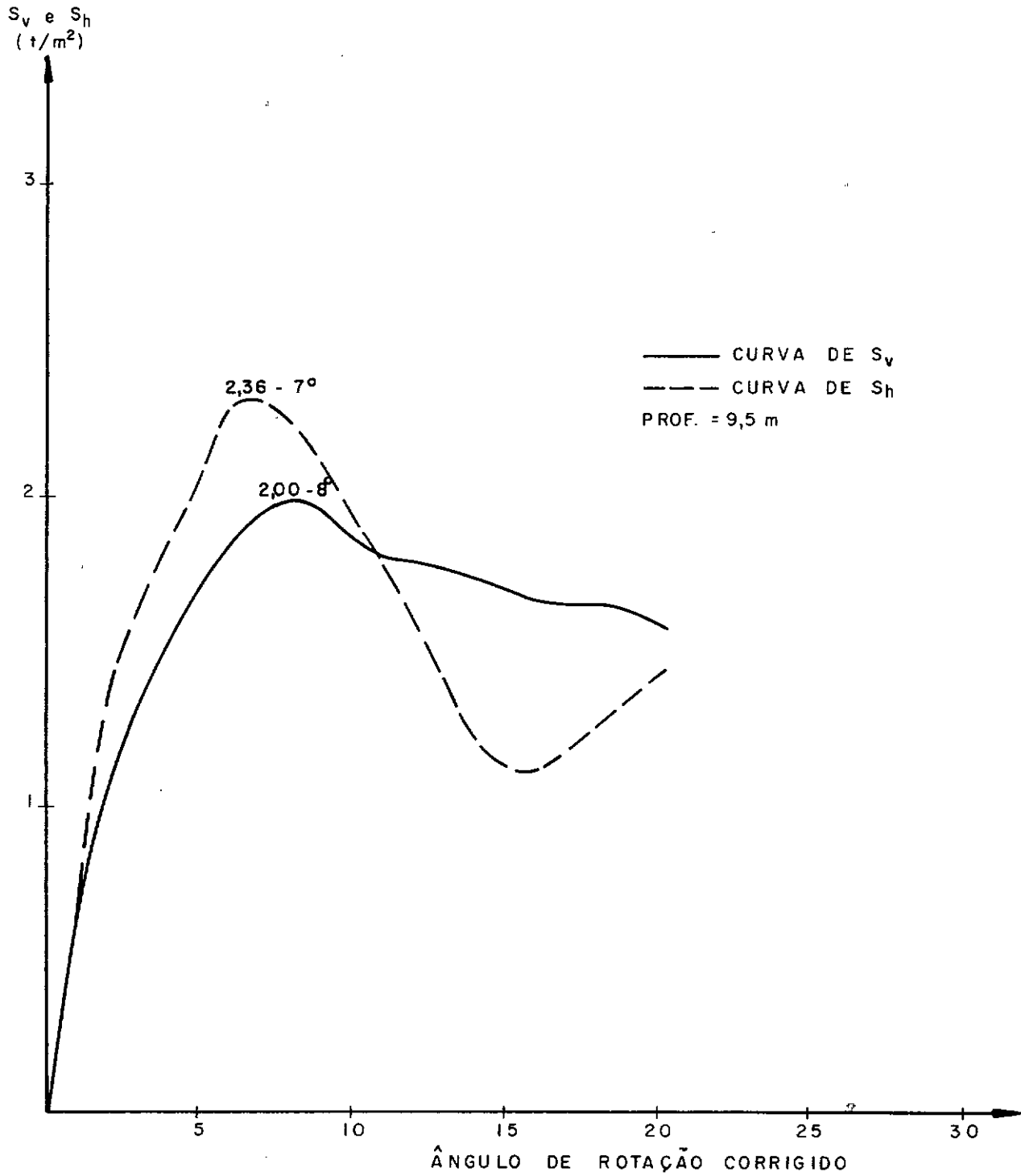


FIGURA 7-16—CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
 LOCAL: MAGÉ

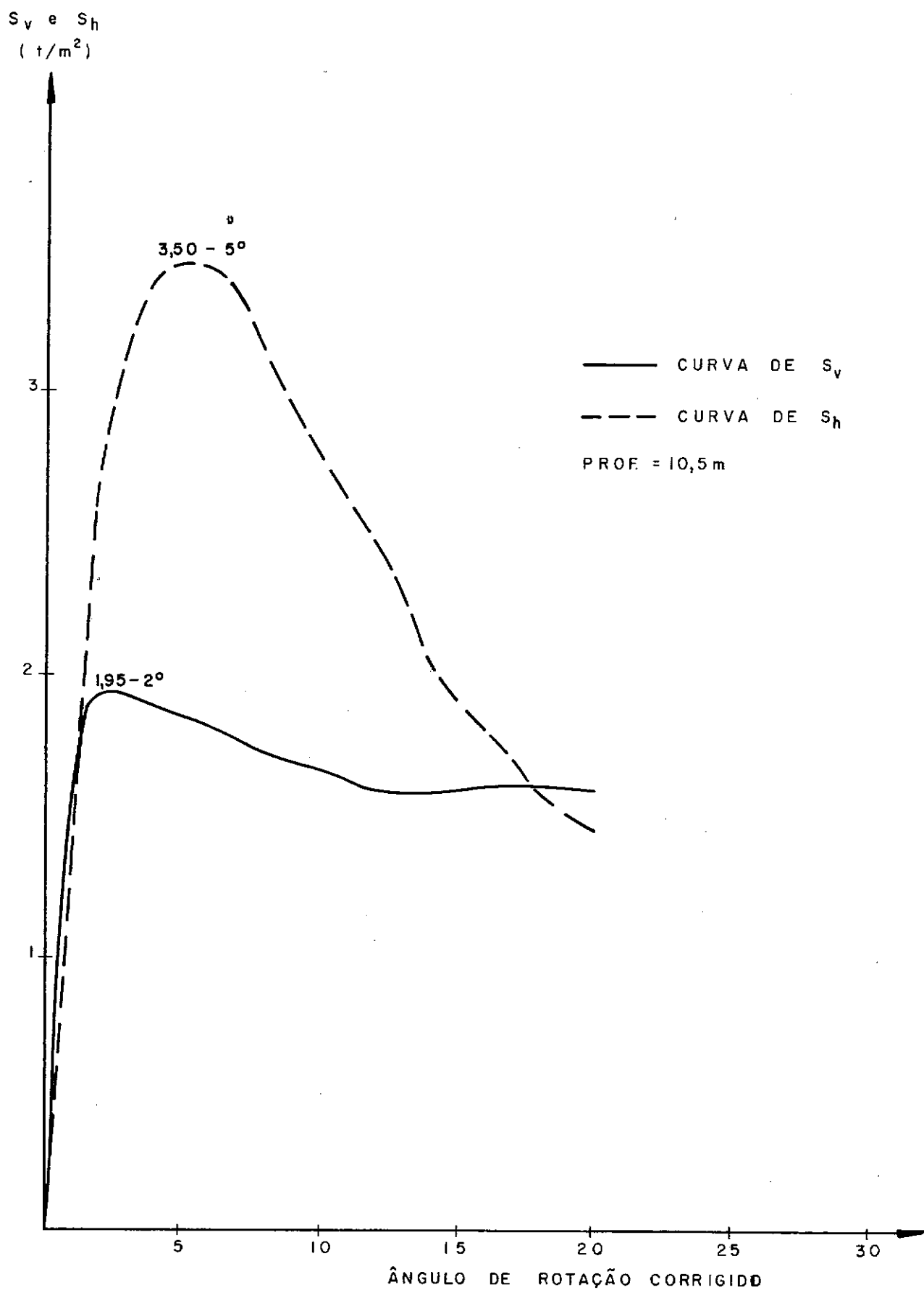


FIGURA 7.17 — CURVAS S_v e S_h x ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO.
LOCAL: MAGÉ

TABELA 7.5 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NÃO DRENADA
PROCESSO WIESEL

LOCAL: SARAPUI

Profundidade (m)	Ângulo (Graus)	SH (t/m ²)	Ângulo (Graus)	SV (t/m ²)	Sh/Sv
3,5	4°	1,74	8°	0,76	2,29
4,5	18°	2,05	4°	0,74	2,77
5,5	7°	1,99	4°	0,91	2,19
6,5	14°	1,95	3°	1,12	1,74
7,5	20°	1,50	6°	1,10	1,36
8,5	18°	2,05	6°	1,40	1,46
9,5	14°	2,30	6°	1,58	1,45

TABELA 7.6 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NÃO DRENADA

PROCESSO WIESEL

LOCAL: ALCÂNTARA

Profundidade (m)	Ângulo (Graus)	SH (t/m ²)	Ângulo (Graus)	SV (t/m ²)	Sh/Sv
4,5	25°	2,18	11°	1,42	1,53
5,5	16°	2,83	2°	1,27	2,23
6,5	7°	2,30	4°	1,49	1,54
7,5	-	-	-	-	-
8,5	-	-	-	-	-
9,5	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-
11,5	-	-	-	-	-

TABELA 7.7 - DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NÃO DRENADA
PROCESSO WIESEL

LOCAL: MAGÊ

Profundidade (m)	Ângulo (Graus)	SH (t/m ²)	Ângulo (Graus)	SV (t/m ²)	Sh/Sv
4,5	14°	2,21	2°	1,31	1,69
5,5	4°	3,17	14°	1,22	2,60
6,5	5°	2,09	3°	1,50	1,39
7,5	20°	2,70	6°	1,82	1,48
8,5	9°	3,00	7°	1,73	1,73
9,5	7°	2,36	8°	2,00	1,18
10,5	5°	3,50	2°	1,95	1,79

mostrados nas tabelas 7.5 a 7.7 não podem ser tomados de maneira confiável, pois, só puderam ser determinadas com o recurso de correções, algo imprecisas, tais como a primeira translação de eixo, a correção angular devido a rotação das hastes e, a acima relatada no presente parágrafo.

Nas figuras 7.18 a 7.20 é apresentada a variação de Sh/S_v com a profundidade, e indicados os valores médios de Sh/S_v , calculados pelos dois processos para os três locais pesquisados.

Deve-se acrescentar, ainda que estes valores médios de Sh/S_v foram calculados levando-se em consideração a variação uniforme de resistência Sh nos planos superior e inferior da palheta. Supondo-se, no entanto, uma distribuição triangular de tensões o efeito seria um aumento de 33% nos valores de Sh determinados e consequentemente nos valores de Sh/S_v .

Uma distribuição, parabólica produziria um acréscimo de 66%, em relação aos valores de distribuição retangular, na relação Sh/S_v .

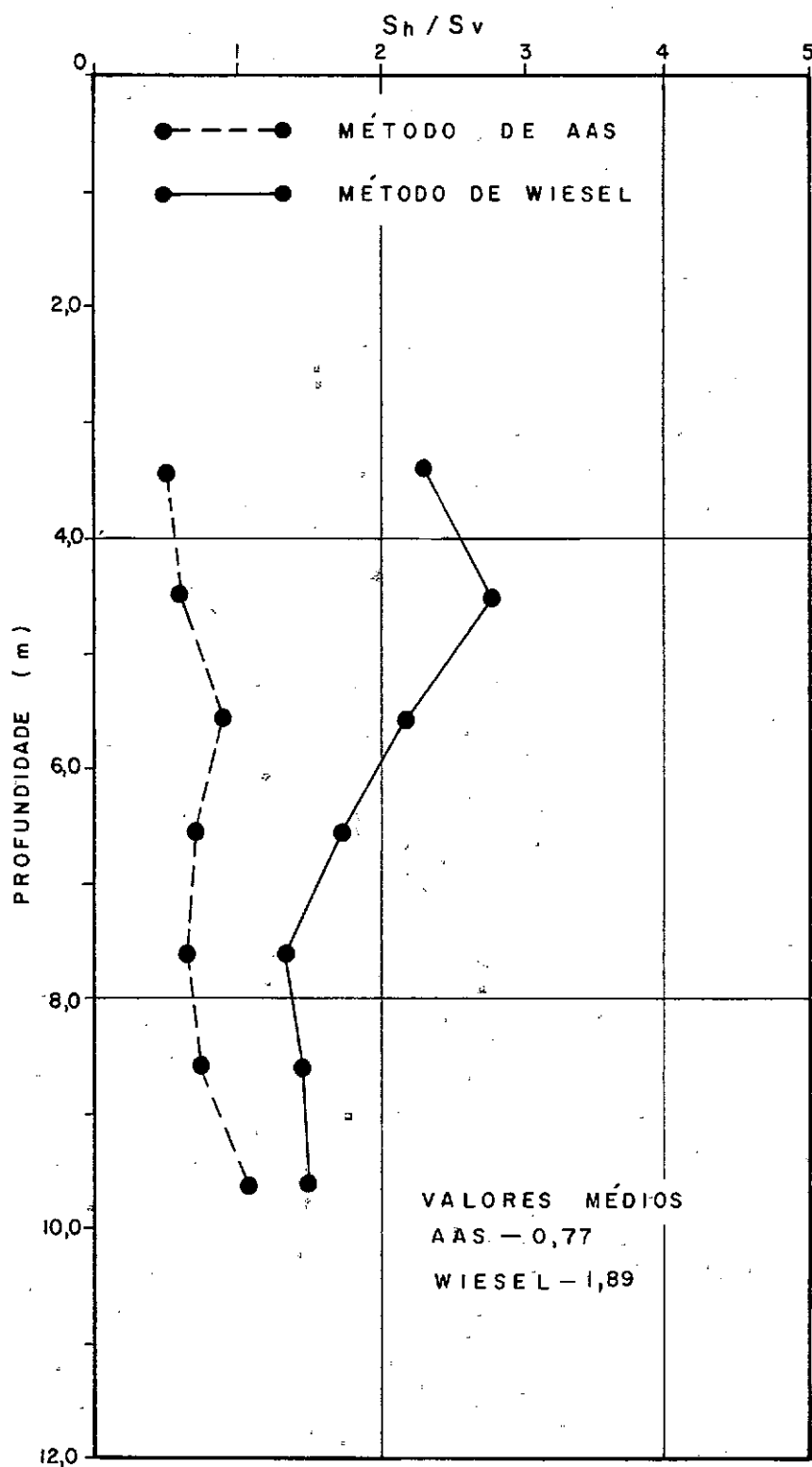


FIGURA 7-18-VARIAÇÃO DE S_h / S_v COM
A PROFUNDIDADE
LOCAL: SARAPUÍ

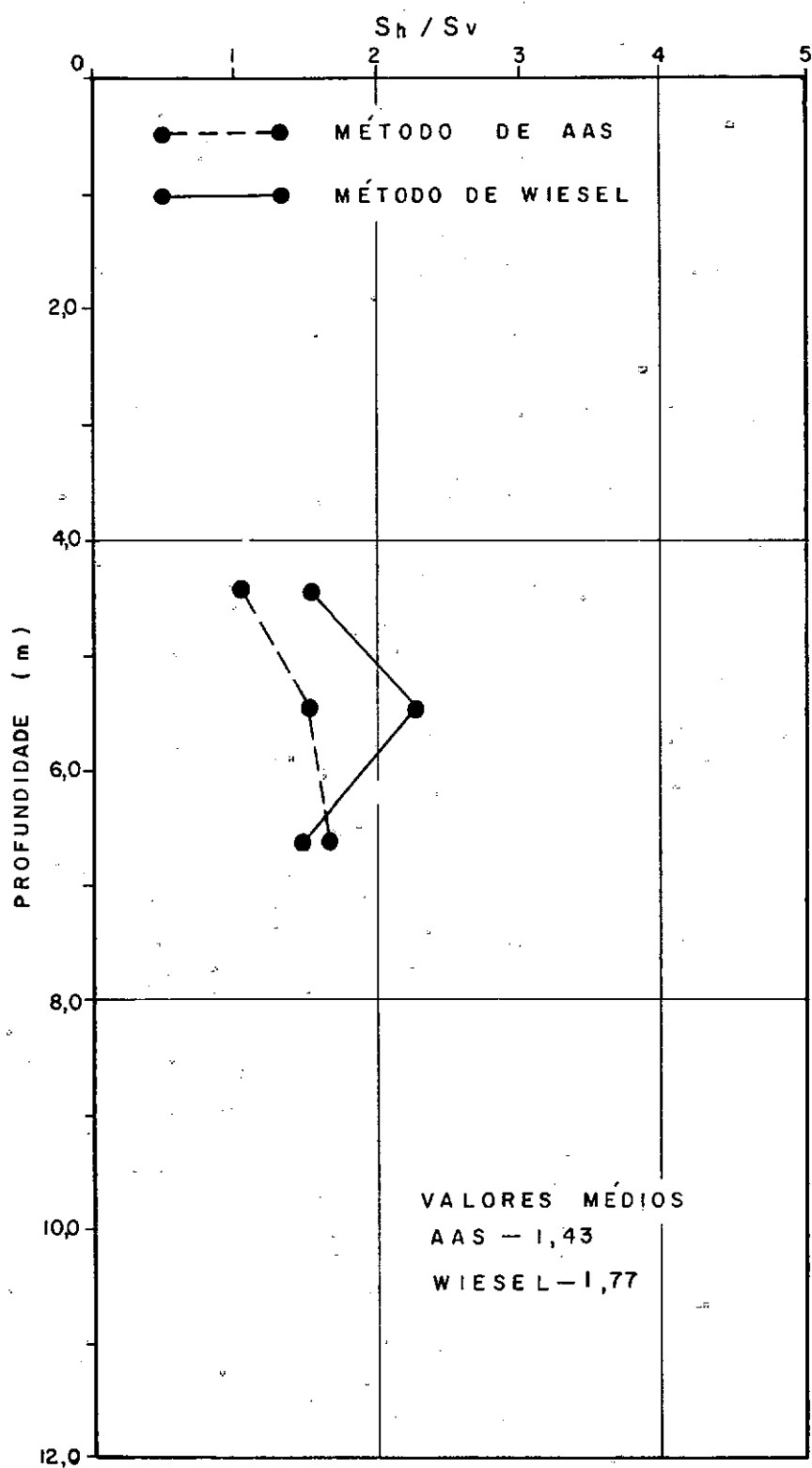


FIGURA 7-19 - VARIAÇÃO DE S_h / S_v COM
A PROFUNDIDADE
LOCAL: ALCÂNTARA

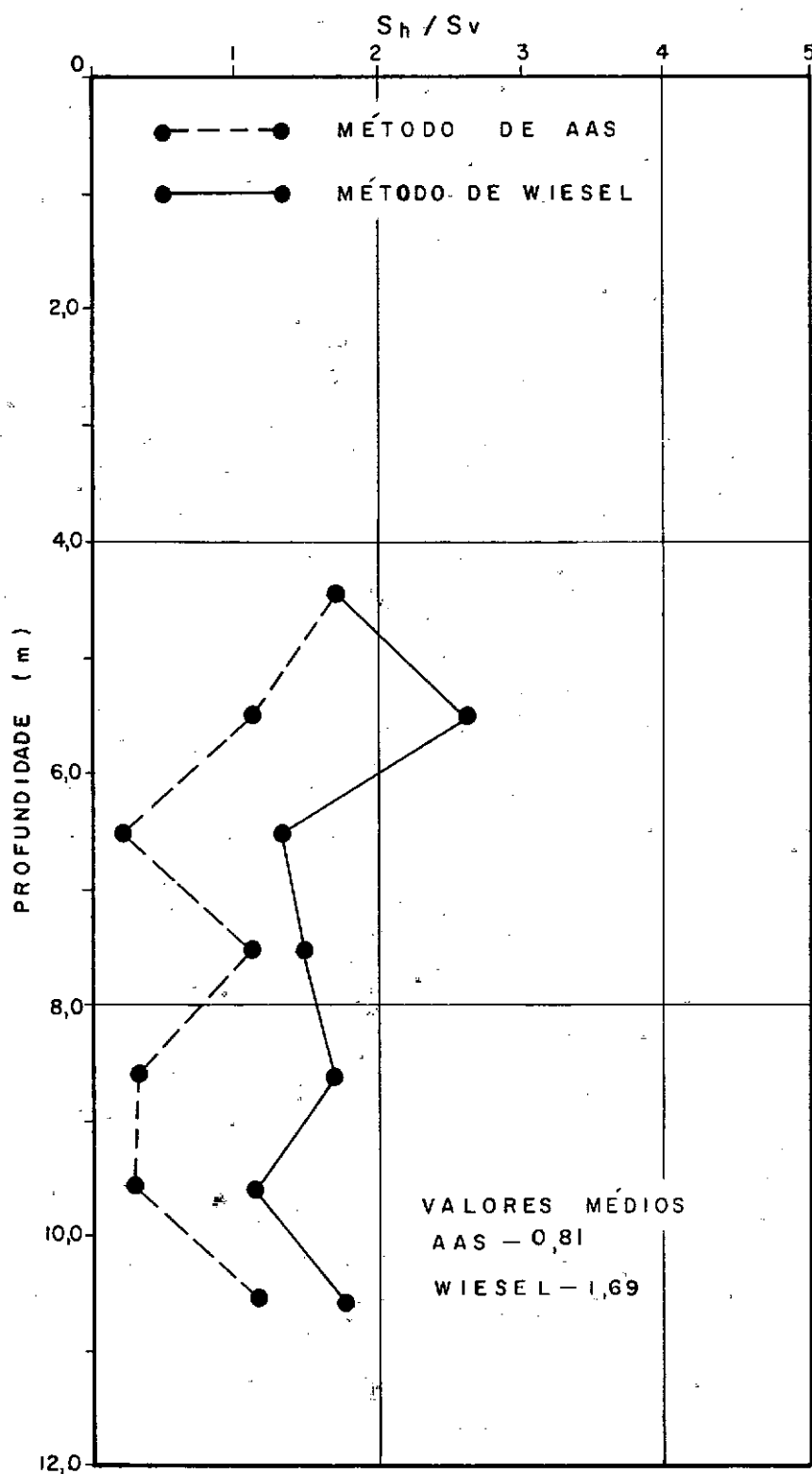


FIGURA 7-20 - VARIAÇÃO DE S_h / S_v COM A PROFUNDIDADE LOCAL: MAGE

8 - DISCUSSÃO SOBRE ENSAIOS DE PALHETA E RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo será discutida a eficiência do emprego do "Vane Test" sob vários pontos de vista, tais como a validade de se determinar por intermédio deste método a resistência não drenada e utilizá-la em análise de estabilidade de aterros, a comparação com outros tipos de ensaios e as principais críticas à sua adoção, bem como, a presente experiência recém concluída. A divisão deste capítulo em diversos itens visa, principalmente, ordenar os vários aspectos a serem discutidos.

8.1 - APLICABILIDADE DE RESULTADOS DE "VANE TEST" EM ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ATERROS SOBRE DEPÓSITO S ARGILOSOS

A grande vantagem da utilização do Ensaio de Palheta diz respeito, inegavelmente, ao aspecto econômico, pelo seu menor custo em relação às outras opções, à rapidez com que podem ser determinadas a resistência de diversos pontos de um maciço, e a redução da perturbação do solo, possibilidade sempre presente em maior ou menor grau nos ensaios com amostras.

Por este motivo, o método vem sendo largamente empregado, e muitas pesquisas vêm sendo executadas, principalmente no sentido de avaliar o emprego de resistência, assim determinadas, em análises de estabilidade sob a condição $\dot{\phi} = 0$ (final de construção).

Os resultados apontados até agora pela literatura internacional mostram-se não elucidativos, gerando inúmeras dis-

cussões.

Alguns estudos, tendo em vista a comparação de dispersão em ensaios de campo e laboratório, indicam que os Ensaios de Palheta são melhores indicadores de resistência não drenada que os de laboratório (compressão não confinada e triaxial UU).

Conforme mostrado no capítulo 3, Bjerrum (1972-1973) estudando detidamente o assunto, concluiu que os Ensaios de Pálheta dão como resultados valores superestimados de resistência não drenada, principalmente para argilas plásticas.

Isto significa que os valores de S_u obtidos por "Vane Test" quando aplicado em retro-análise de rupturas resultam em coeficientes de segurança altos. Na verdade, então, as resistências mobilizadas no campo seriam menores que as medidas por este ensaio. Sugeriu, Bjerrum nos mesmos trabalhos, uma correção para o valor da resistência não drenada obtida por Ensaios de Palheta (figura 3.14).

La Rochelle, Roy e Tavenas (1974) e Ladd (1973) obtiveram coeficientes de segurança ainda maiores, para análise de estabilidade de aterros sobre os depósitos argilosos de Champlaim e Boston, respectivamente.

Um excelente estudo efetuado por Pilot (1976), concluiu também pela obtenção de valores de S_u através de Ensaios de Palheta maiores que os realmente mobilizados no campo, quando da ruptura.

À igual conclusão chegaram, mais recentemente, pesquisadores da Universidade de Laval, no Canadá (Schmertmann, 1973).

Schmertmann (1973) refere-se a esta situação de incerteza como uma "crise de correção", sugerindo certamente a adição de uma incerteza maior proveniente da correção indicada por Bjerrum.

Os fatores que mais afetariam tais discrepâncias seriam:

- a) Efeito de tempo - conforme definido no item 3.4.4, é a principal causa das discrepâncias entre valores de resistência não drenada obtidas em ensaios e os que realmente ocorrem no campo (Bjerrum, 1973);
- b) anisotropia - a principal crítica à determinação da resistência não drenada levando-se em consideração a anisotropia, baseia-se no desconhecimento das tensões efetivas atuantes "in situ", quando da realização dos ensaios de palheta.

Este desconhecimento é devido à variação de tensões neutras pela cravação de palheta e rotação da mesma. Até o momento não pode ser convenientemente calculada tal variação ao redor da palheta.

Além desta anisotropia induzida, deve-se levar em conta a anisotropia inerente, de real importância em alguns depósitos.

Schmertmann (1975) propõe uma explicação ao fato de Bjerrum (1973) ter encontrado valores de relação Sh/S_v decrescentes com o aumento da plasticidade das argilas, baseada no pressuposto que as argilas de maior índice de plasticidade possuem maiores quantidades de partículas planas orientadas paralelamente

e na direção horizontal.

Assim, quanto mais partículas nesta posição, maior seria o valor de S_v e menor a relação para solos mais plásticos.

Segundo Ladd (1975), tendo em vista que pelo efeito de tempo, quanto menor o índice de plasticidade menor a sua importância e que devido ao efeito de anisotropia, quanto maior o índice de plasticidade menor a sua importância, ocorre um cancelamento de erros, daí, a não obtenção de valores mais irreais para a resistência não drenada.

- b) ruptura progressiva - importante nas argilas sensíveis, tem seu mecanismo descrito no item 3.4.4.

Além destas causas principais que seriam comuns a todos os ensaios de campo e de laboratório, poder-se-ia citar, também, algumas inerentes apenas aos Ensaios de Palheta, e descritas como "fatores que influem na resistência não drenada de argilas" no item 3.4.3.

Deve-se notar que alguns destes fatores atuam no sentido de aumentar a resistência ao cisalhamento medida por ensaios de palheta (maiores velocidades de rotação de palheta, maior intervalo de tempo entre a cravação da palheta e o início do ensaio, possibilidade de ocorrência de drenagem durante o ensaio, etc.) enquanto outros no sentido de reduzi-la (possível amolgamento durante a abertura do furo, de formação da argila durante a cravação do "Vane", ruptura progressiva, etc.).

A correção proposta por Bjerrum (1973) visando adaptar os ensaios de palheta no tocante à resistência obtida, à resistência real do campo, obtida estatisticamente, é criticada por Schmertmann, (1973) baseado no fato de que os dados foram colhidos de diversas instituições que utilizaram diferentes equipamentos, diferentes métodos de análise de estabilidade, ainda mais, a faixa de variação de valores muito grande e as argilas apresentando estruturas as mais diferentes.

Gregersen (1975) não concorda com a afirmação de Schmertmann quanto a não confiabilidade na variação do coeficiente de segurança com o Índice de Plasticidade, segundo a reta proposta por Bjerrum (1973), achando muito poucas as exceções apontadas por Schmertmann. Não concorda, também com as críticas de Schmertmann às correções introduzidas por Bjerrum (1973), achando que até melhor confirmação dos erros introduzidos pela utilização de valores de S_u de campo (por exemplo através de Ensaio de Palheta), o procedimento corretivo de Bjerrum (1973) é o mais indicado para análise de estabilidade.

Para Schmertmann (1975), o problema básico estaria no método de análise de estabilidade considerando a condição " $\Phi = 0$ ". Acha também que o ensaio de palheta está fadado a ser abandonado, aconselhando a sua transição para outros com maiores possibilidades, como por exemplo ensaios com pressiômetros.

Ladd (1975) indica como válida a continuação de pesquisas teóricas, de laboratório e de campo no sentido de resolver tão importante problema.

Ambos, no entanto, concordam que no estágio atual o Ensaio de Palheta deva ser considerado apenas como capaz de resultar um índice de resistência não drenada.

8.2 - ACEITAÇÃO DO MÉTODO COMO DEFINIDOR DE S_u , PARA A ARGILA AMOLGADA

O método largamente empregado de medida de S_u do material considerado amolgado, baseado no procedimento de se girar a palheta de modo a perturbar sua estrutura, é também contestado em sua validade.

Segundo Schmertmann (1973) o valor desta resistência, será função do maior ou menor grau de orientação empreendida pela palheta à estrutura do solo na superfície cilíndrica de ruptura.

Assim, a determinação da sensibilidade ou sensibilidade das argilas por este processo não tem significado. Representa apenas a resistência não drenada de argilas a grandes deformações ou a grandes valores de pressões neutras desenvolvidas.

Comparado com resultados de ensaios de compressão simples, quando o material tem sua estrutura completamente destruída, apresenta valores geralmente superiores de resistência.

8.3 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E ROTINAS DE EXECUÇÃO

Conforme foi mostrado no capítulo 3, a principal diferença entre os equipamentos e, por conseguinte, entre as rotinas de execução, reside nas maneiras de se proceder, à penetração da palheta.

No que concerne à rotina a ser seguida nos ensaios, há

uma certa tendência a padronização, quanto a velocidade de rotação ($6^{\circ}/\text{min.}$), execução do ensaio logo após a cravação do "Vane" (embora haja possibilidade de os resultados diferirem muito com a adoção de um tempo mais prolongado), rotação da palheta à velocidade maior logo depois do ensaio com material indeformado, visando seu "amolgamento", etc. Pequenas variações nesta rotina, certamente não alterariam muito os resultados.

No tocante porém, ao método de cravação do "Vane", as maneiras de executá-la, com furação prévia (com ou sem revestimento), ou sem furação prévia (hastes com ou sem atrito com o solo), podem propiciar, quando da realização dos ensaios, medidas mais precisas ou medidas menos precisas.

Da mesma maneira, os tipos de peças da parte superior do equipamento, onde se impõe a rotação do conjunto e se medem os torques, podem favorecer ou não a maior acurácia de medições.

O maior problema, que depende, tanto da parte superior, como inferior do aparelho, constituiu-se no atrito entre o conjunto de hastes e o revestimento.

Empregando-se o processo de furação prévia, com hastes A, espaçadores e revestimento, como componentes da parte inferior e o conjunto de caixa de engrenagens para aplicação de torque com manivela, mola em forma de anel e haste quadrada (figura 3.5 e 5.4), como constituintes da parte superior, os atritos medidos são de intensidade muito variável, formando os seus valores, para uma mesma condição de ensaio, uma faixa muito grande de dispersão.

Conforme anteriormente comentado, estes valores parecem depender do posicionamento relativo do conjunto de hastes

e revestimento, durante a cravação.

Deve ser chamada a atenção para o fato de que mesmo com a utilização de espaçadores de rolamento, o problema não é totalmente sanado.

A utilização de equipamento tipo NGI, no entanto, segundo Andressen e Bjerrum (1956), minimiza o atrito pela utilização de um tubo envolvendo a haste fina e assim livrando-o do contato direto com a argila (entre a haste e o tubo é colocado graxa), de espaçadores a cada quatro metros e de um sistema de aplicação de rotação na parte superior baseado em deformação de uma lâmina, ao invés de mola em forma de anel.

Mesmo sendo poucas as referências a problemas com a determinação de atritos as mesmas dificuldades encontradas na presente pesquisa parecem ter ocorrido também em outras pesquisas com equipamento e rotina bem semelhantes, conforme se depreende dos trabalhos de Schlessinger (1949) e Bennett e Mecham (1953).

Além destes autores Aldrich (1953) e Bjerrum (1973) salientam a importância do atrito no aparelho e nas implicações nos resultados dos ensaios.

Uma importante observação prende-se ao fato de que se observarmos os resultados obtidos nas medições de atrito, figura 5.17 e em medições com material indeformado, figuras 6.4 a 6.21, constata-se uma dispersão muito maior nos primeiros ensaios. Isto sugere a seguinte pergunta: "Caso os atritos medidos em todos os ensaios influenciassem nos ensaios com argila indeformada a dispersão destes não teria sido maior?"

De acordo com observações anteriores deve existir um efeito de cravação de palheta, cuja consequência é diminuir tais atritos ou torná-los menos dispersos.

O equipamento utilizado na presente pesquisa, não possui suficiente precisão para medir torques muito baixos (segundo estudo de erros efetuado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, torques menores que 300kg.cm), daí a grande dispersão nos ensaios de atrito, nos ensaios com material amolgado e com a palheta de 10,2cm x 5,1cm.

Os melhores resultados obtidos, quando da troca das palhetas com diâmetro de 5,1cm pelas de 9,2cm, certamente deveriam-se a esta providência.

O aparelho utilizado na pesquisa apresenta um grave inconveniente de projeto, qual seja o pequeno diâmetro do furo central, por onde penetra a haste quadrada, em relação a espessura desta haste. Foi constatado que a haste mantinha-se forçada de encontro as paredes deste furo central, causando atritos de valores elevados. O alargamento executado no furo e a colocação de um espaçador de rolamento de maneira a conter a haste, não solucionaram totalmente o problema.

Convém repetir que, segundo Andressen e Bjerrum (1956), o melhor sistema de transmissão de torques, não seria através de mola em forma de anel e sim por lâminas como no equipamento projetado pelo NGI.

A figura 5.13 apresenta um gráfico torque x ângulo de rotação de palheta, para um ensaio com argila indeformada no Sarapuã, seguido de um "amolçamento" pela rotação da palheta a

locidade maior e de dois ensaios com leituras de 0° a 360° e 360° a 720° .

Neste gráfico parece estar claramente mostrado os torques "estranhos" medidos, fazendo com que a curva nos trechos AB, CD e EF, apresentassem anomalias (aumentos ou diminuições de torques), somente possíveis de serem explicadas por esforços devidos ao posicionamento relativo entre hastes e tubo de revestimento.

As observações constantes do item 5.5, complementam a presente discussão.

8.4 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Um estudo dos gráficos de valores de resistência não drenada variando com a profundidade, conforme mostrados nas figuras 6.4 a 6.21 e dos diversos coeficientes de correlação encontrados, indica que o equipamento efetua medições mais precisas para maiores torques relativos às resistências do material argiloso indeformado. Pode-se notar claramente que os valores dos coeficientes de correlação nos ensaios com argila indeformada são maiores que os valores desses coeficientes em ensaios com argila "amolgada", quando é bem menor a ordem de grandeza dos torques a que está solicitado o equipamento. O mesmo ocorre comparando-se valores de torques em ensaios com material indeformado e em ensaios de atrito.

A figura 5.19 onde estão marcados os valores da constante de mola obtidos em ensaios realizados no laboratório da

Divisão de Pesquisas do DNER e no laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, indica, para torques menores que os da ordem de 300kg.cm, uma faixa de variação da constante de até 30% em relação ao valor adotado.

Um parecer solicitado ao IPT por ocasião da recalibração a que foi submetida a mola, confirma a pobreza da repetibilidade para valores abaixo deste torque.

Dos três locais onde se realizaram as pesquisas, os piores resultados na determinação de S_u com material indeformado foram encontrados em Alcântara. Durante os ensaios, as dificuldades de realizá-los neste local foram flagrantes. A presença de uma camada intermediária muito arenosa (mais ou menos entre 2,85m e 3,5m de profundidade) e de um aterro proveniente de material de dragagem já bem endurecido, dificultou muito os trabalhos. Além disso, pela ocorrência deste bota-fora o terreno apresenta-se com muitas elevações e embora fosse providenciado um nivelamento expedito com nível de mangueira de todas as bocas de furo, a imprecisão de medidas de profundidade deve ser bem maior neste local. Registre-se também o fato de que a palheta de 36,8cm x 9,2cm só conseguiu ser cravada, à profundidade maior que 4,5 metros.

Nos três locais e para várias profundidades foi notada durante os trabalhos de sondagens a presença de conchas e de material concrecionado.

Não há nenhuma relação entre valores obtidos com as três palhetas, para os três locais, isto é, não se pode através de observação das figuras 6.4 a 6.21 obter nenhuma relação entre altura de palheta e valores de S_u relativos a uma mesma profundi

dade.

Os resultados de ensaios com palheta 36,8cm x 9,2cm foram os que melhor se relacionaram com a profundidade (com exceção, é claro, dos resultados de Alcântara pelos motivos já expostos) e os que tiveram menos ensaios eliminados (tabelas 6.2 e 6.4). Isto se deve ao fato de esta palheta produzir maiores momentos.

Os ensaios para determinação de S_u com argila "amolgada", produziram maior dispersão dos resultados, como se depreende dos valores dos coeficientes de correlação obtidos. Neste caso, também, os melhores resultados foram conseguidos com a palheta 36,8cm x 9,2cm, exceção feita aos ensaios em Alcântara.

Os intervalos de previsão para ensaios efetuados separadamente com cada uma das palhetas, figuras 6.8, 6.14 e 6.20, interessantes para determinação de valores mínimos para projeto, não indicam nenhuma relação destes valores mínimos com alturas da palheta.

A variação de valores de resistência não drenada da argila não perturbada, com a profundidade, considerando-se todos os ensaios (figuras 6.9, 6.15 e 6.21) com exceção dos valores obtidos em Alcântara, apresentaram boa correlação da mesma ordem de grandeza das apresentadas na literatura internacional (por exemplo Arman, Poplin e Ahmad - 1975 e Dascal e Tournier - 1975).

Os valores de sensibilidade obtidos e mostrados na figura 6.22, encontram-se dentro da faixa de variação esperada para argilas do tipo da pesquisada.

Para a série de ensaios realizados no Sarapuí e denominados de Experimentais, já anteriormente comentados no item 5.4,

foram também calculados os valores de S_u e verificada sua variação com a profundidade.

Estes cálculos basearam-se numa verificação daqueles que apresentaram uma curva deformação de mola x ângulo de rotação, de tal forma a se poder determinar um máximo ou seja curvas que apresentaram certa tendência à curva teórica.

Os resultados estão mostrados segundo dois critérios: um baseado nos grupos de ensaios referidos no item 5.4, pelo qual pertencem ao 1º grupo os ensaios realizados nos furos 3 e 4, ao 2º grupo os realizados nos furos 14 e 15 e ao 3º grupo os dos 17 a 21. O segundo critério apresenta todos os ensaios num mesmo gráfico.

As tabelas 8.1 a 8.6 e as figuras 8.1 a 8.4 apresentam estes resultados e a variação com a profundidade.

Os gráficos mostram que as correlações obtidas foram muito pobres, com baixos valores de coeficiente de correlação.

A figura 8.4, onde estão marcados os valores de todos os ensaios experimentais efetuados, parece indicar a ocorrência de duas regiões distintas de valores. Tomando-se os pontos pertencentes à "nuvem" da esquerda, obtem-se o coeficiente de correlação maior que os obtidos para os outros gráficos relativos a ensaios experimentais.

Convém ressaltar que todos esses ensaios foram realizados com palhetas de diâmetro 5,1cm, que como já vimos produzem torque dentro da faixa de 0 a 300kg.cm, portanto muito afetados pelos atritos no aparelho. Os valores altos de resistência não drenada encontrados podem, em parte, serem explicados; desta ma-

TABELA 8.1 - VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 3

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola $\times 10^{-4}$ in		Deform. Corri- gida $\times 10^{-4}$ in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m ²)
	Palheta	Atrito			
2,50	80	25	55	52,20	0,58
3,50	76	28	48	45,60	0,51
4,50	74	33	41	38,90	0,44
5,50	104	38	66	62,70	0,70
6,50	201	42	159	151,00	1,69
7,50	252	46	206	195,70	2,19

Obs.: Palheta Utilizada - 20,4 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,950 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

TABELA 8.2 - VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 4

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola $\times 10^{-4}$ in		Deform. Corri- gida $\times 10^{-4}$ in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m^2)
	Palheta	Atrito			
1,5	67	20	-	-	0,93
2,5	147	25	122	155,90	2,41
3,5	78	28	50	47,50	0,99
4,5	115	33	82	77,90	1,62
5,5	104	38	66	62,70	1,30
6,5	90	42	48	45,60	0,95
7,5	117	46	71	67,40	1,40
8,5	108	50	58	55,10	1,15
9,5	156	54	102	96,90	2,02
10,5	212	58	154	146,30	2,83

Obs.: Palheta Utilizada - 10,2 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,950 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

TABELA 8.3 - VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 14

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola x 10^{-4} in		Deform. Corri- gida x 10^{-4} in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m ²)
	Palheta	Atrito			
2,0	300	25	275	162,80	3,38
3,0	410	28	382	226,10	4,70
4,0	425	33	392	232,10	4,82
5,0	-	38	-	-	-
6,0	460	42	418	274,40	5,15
7,0	403	46	357	211,30	4,39
8,0	-	50	-	-	-
9,0	-	54	-	-	-
10,0	230	58	172	101,80	2,12

Obs.: Palheta Utilizada - 10,2 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,592 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

TABELA 8. 4 - VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 15

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola $\times 10^{-4}$ in		Deform. Corri- gida $\times 10^{-4}$ in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m^2)
	Palheta	Atrito			
2,0	134	55	79	46,70	0,97
3,0	-	-	-	-	-
4,0	-	-	-	-	-
5,0	342	38	304	179,90	3,74
6,0	372	42	330	195,30	4,06

Obs.: Palheta Utilizada - 10,2 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,592 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol (IPT)}$

TABELA 8.5 - VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 17

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola $\times 10^{-4}$ in		Deform. Corri- gida $\times 10^{-4}$ in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m ²)
	Palheta	Atrito			
2,0	-	25	-	-	-
3,0	255	28	227	215,60	4,48
4,0	200	33	167	158,60	3,30
5,0	-	38	-	-	-
6,0	200	42	158	150,10	3,12
7,0	225	46	179	170,00	3,54
8,0	-	50	-	-	-
9,0	138*	54	84	79,80	1,66

(*) Curvas muito boas.

Obs.: Palheta Utilizada - 10,2 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,950 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

TABELA 8.6 + VALORES DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM ENSAIOS
EXPERIMENTAIS - SARAPUI - FURO Nº 21

Profundidade (m)	Deformação Máxima da mola $\times 10^{-4}$ in		Deform. Corri- gida $\times 10^{-4}$ in	Torque (T) (kg.cm)	Su (t/m ²)
	Palheta	Atrito			
2,0	45	25	20	19,00	0,21
3,0	93*	28	65	61,70	0,69
4,0	80	33	47	44,60	0,50
5,0	120	38	82	77,90	0,87
6,0	1160*	42	118	112,10	1,25
7,0	150*	46	104	98,80	1,11
8,0	175	50	125	118,70	1,33
9,0	-	-	-	-	-
10,0	-	-	-	-	-

(*) Curvas muito boas

Obs.: Palheta Utilizada - 20,4 x 5,1

Constante da Mola - $K = 0,950 \text{ kg.cm}/10^{-4} \text{ pol.}$

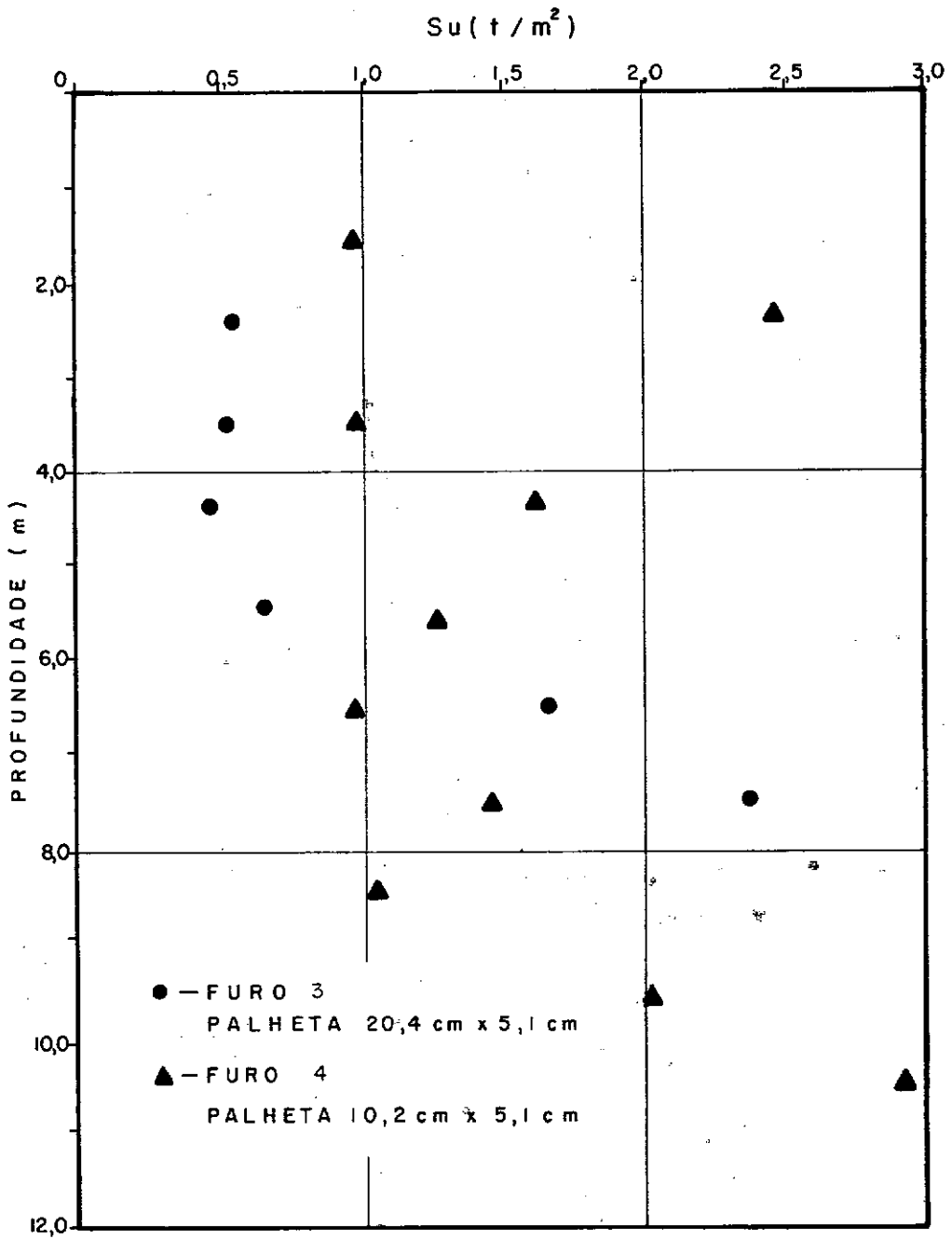


FIGURA 8-1 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS. (ARGILA INDEFORMADA.)
LOCAL: SARAPUÍ

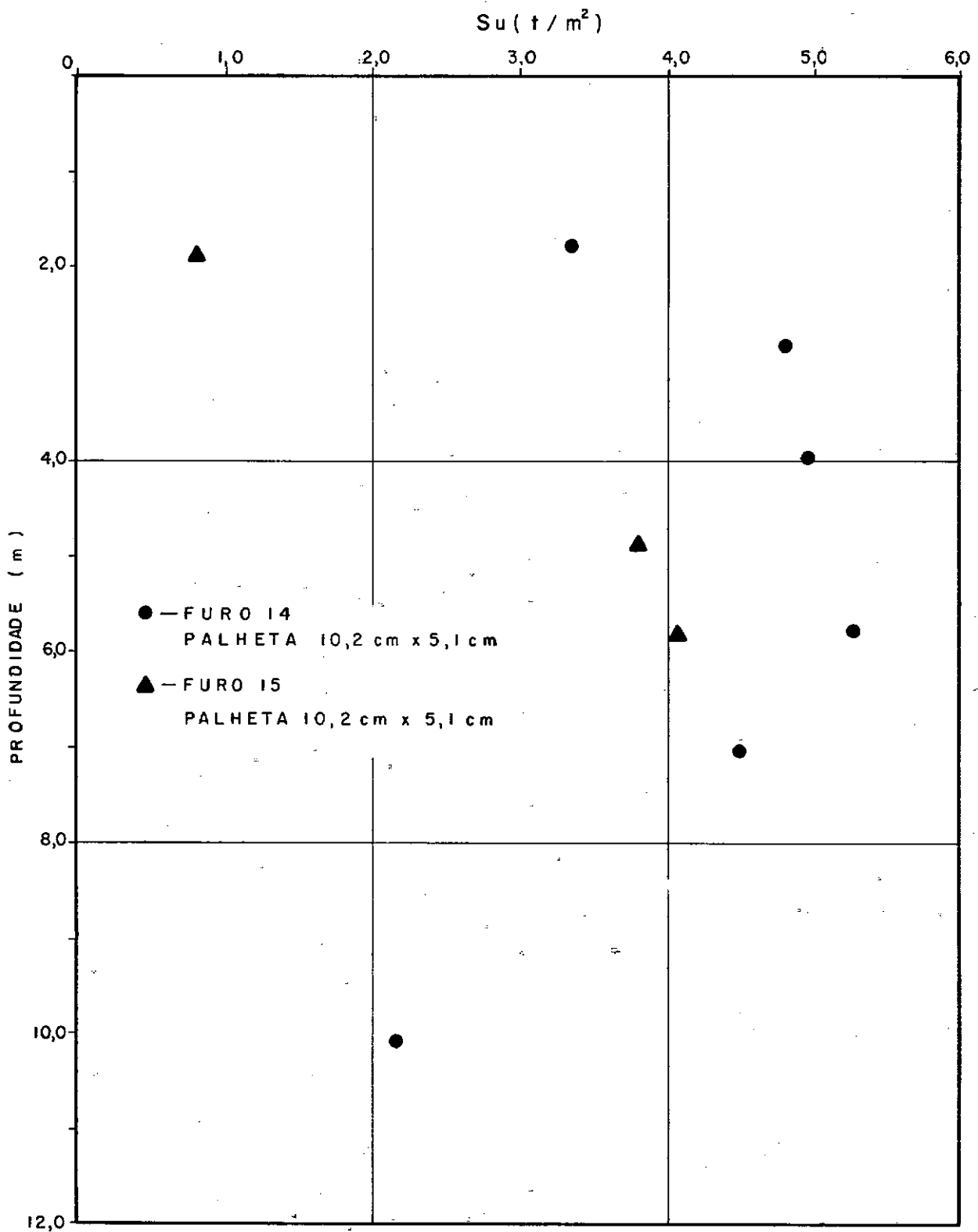


FIGURA 8-2 — VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS. (ARGILA INDEFORMADA.)
 LOCAL: SARAPUÍ

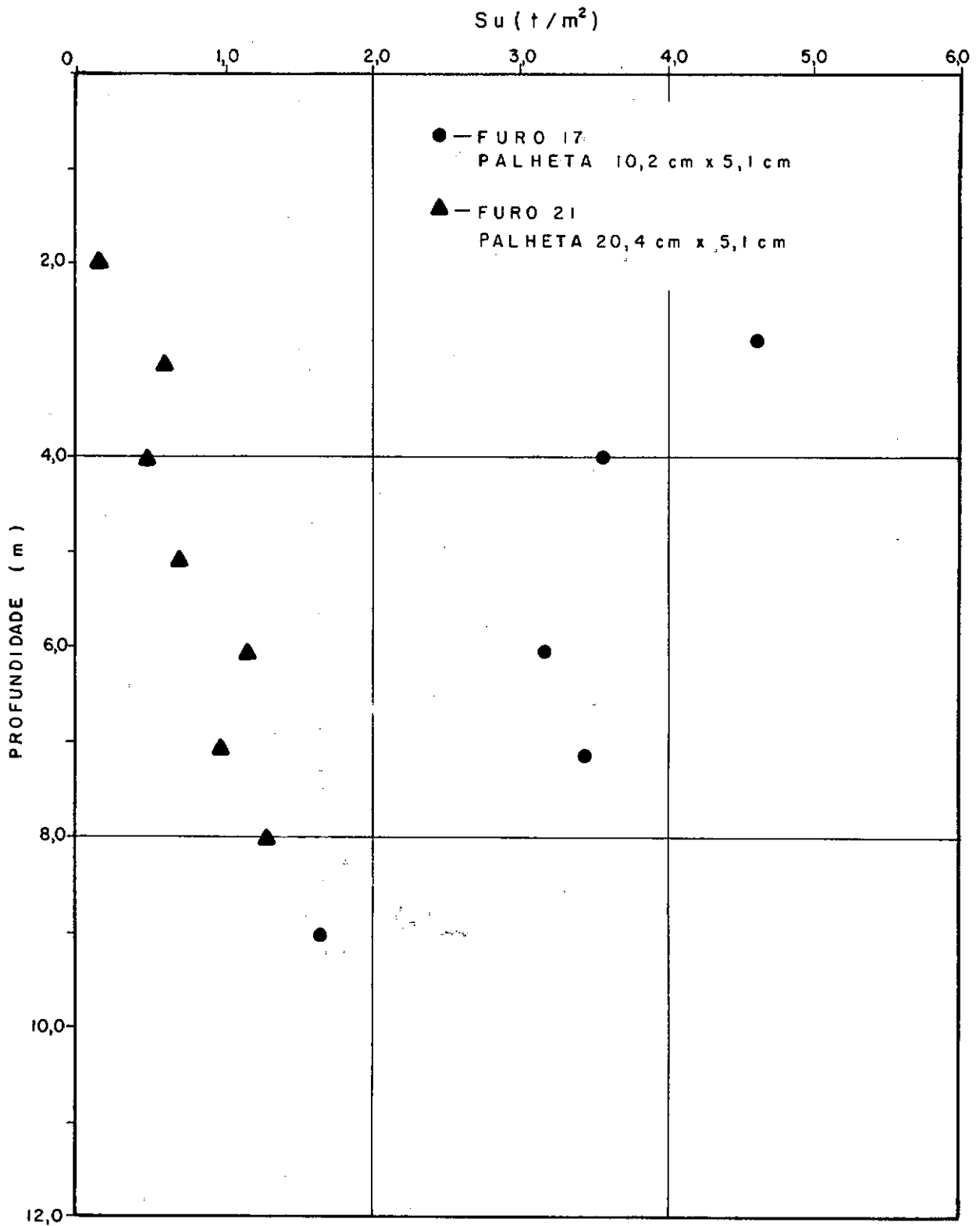


FIGURA 8.3 — VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM
 A PROFUNDIDADE EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS. (ARGILA INDEFORMADA.)
 LOCAL: SARAPUI

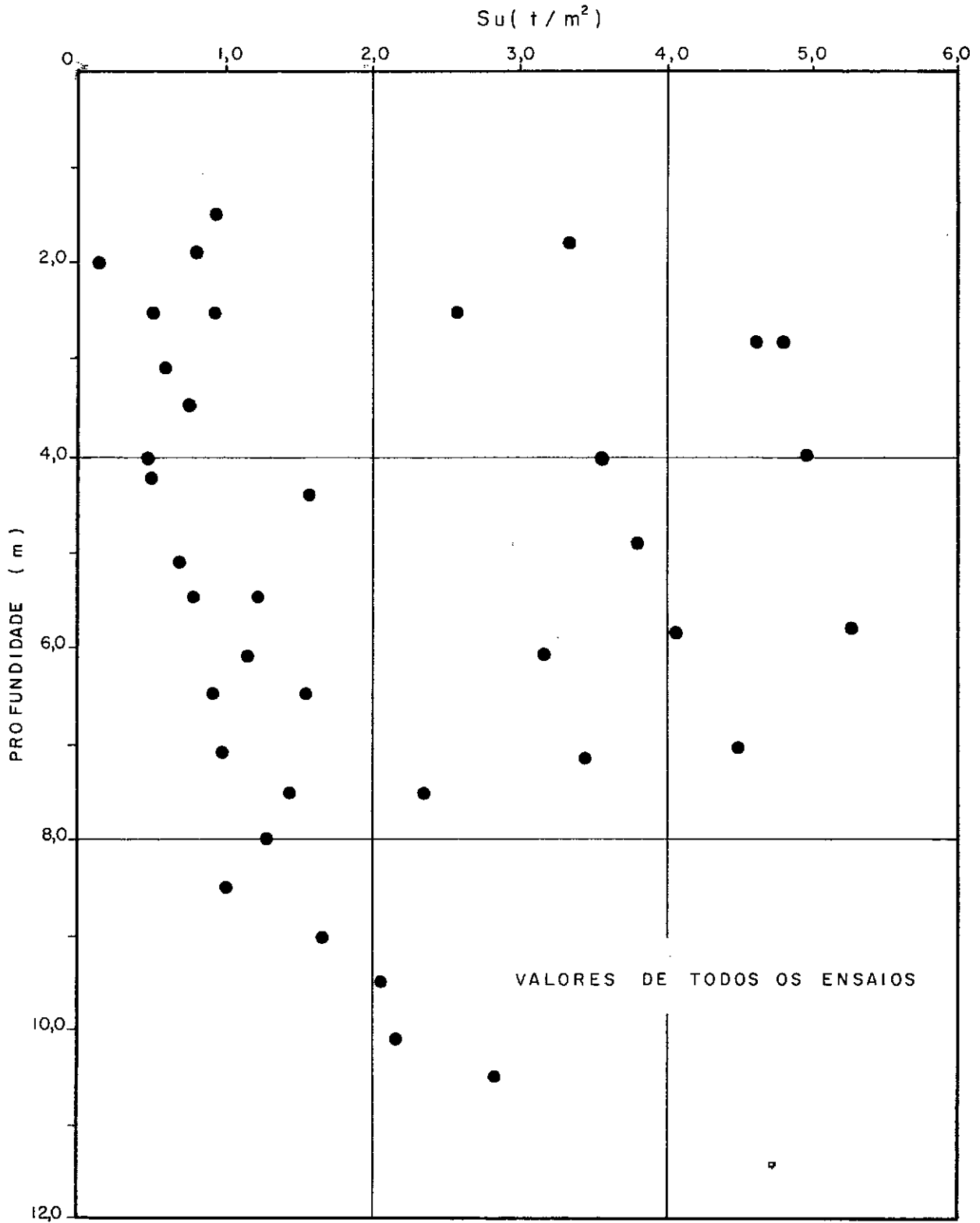


FIGURA 8-4- VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COM A PROFUNDIDADE EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS (ARGILA INDEFORMADA)
LOCAL: SARAPUÍ

neira. Outrossim, deve ser salientado que conforme anteriormente informado, uma recalibração na mola nº 2, no laboratório do IPR indicou um valor da constante quase 50% mais baixo que o encontrado pelo IPT.

Uma comparação entre valores de resistência não drenada indicados nas figuras 6.8 e 8.4 (considerando apenas a "nuvem" de pontos da esquerda) indica que os obtidos com a palheta de diâmetro menor (5,1cm) são em média 30% maiores que os determinados com palhetas de diâmetro 9,2cm ou 10,2cm.

8.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE OS VALORES DE ANISOTROPIA DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA

A imprecisão do instrumento de medida utilizado, bastante comentada nos capítulos anteriores, constitui-se, também, no principal obstáculo à tentativa de determinação de anisotropia da resistência ao cisalhamento não drenada dos três depósitos.

Abaixo é feito um comentário crítico sobre os dois processos empregados tendo em vista os resultados obtidos, relacionando-os com os valores constantes do gráfico Sh/S_v x Índice de Plasticidade proposto por Bjerrum (1973), e constante da figura 3.12.

MÉTODO DE AAS

Os valores médios de Sh/S_v encontrados para os depósitos de Sarapuí e Magé, se aproximavam da curva proposta por Bjerrum. O valor determinado para Alcântara situa-se acima desta curva.

Para os três depósitos, os valores de Sh/Sv encontrados, tanto pela média de Sh/Sv relativos a cada profundidade, quanto tomando-se os valores de $2M/HD^2H$ média para cada depósito e fazendo-se a regressão linear, foram bem coincidentes como pode-se concluir das tabelas 7.2 a 7.4.

Interessante notar, também, nestas tabelas os bons valores de coeficiente de correlação para todas as regressões lineares efetuadas. Parte deve-se ao fato de a mesma ser efetuada através de três pontos, sendo dois (relativos às palhetas intermediárias e maior) muito próximos. Nesta conclusão a reta de regressão orienta-se da seguinte maneira:

- a) passando por um ponto médio entre os dois pontos acima referidos;
- b) tendo um outro ponto sobre o correspondente ao valor de $2M/HD^2H$ e $1/3^D/H$ para a palheta menor.

Tendo-se em vista que os valores de momentos obtidos com a palheta menor constituem-se naqueles com maior grau de incerteza, a determinação de Sh e Sv pode ser grandemente influenciada por este erro.

MÉTODO DE WIESEL

Por este método, em que se procura determinar grau a grau a variação de Sh e Sv os valores médios de Sh/Sv afastam-se muito e para a parte superior, da curva de Bjerrum (fig. 3.12).

Agora duas fontes de erros devem ser analisadas. A primeira refere-se às várias correções angulares efetuadas ao longo do processo, visando obter o exato ângulo de rotação da pa

lheta durante o ensaio. A segunda relaciona-se ao desconto, dos torques lidos durante o ensaio, aqueles correspondentes a atritos no aparelho.

Levando-se em conta que os valores de Sh e S_v são obtidos por regressão linear para cada grau de rotação de palheta, não se pode afirmar que para um certo ângulo de rotação os valores de momento sejam aqueles que realmente ocorreram e que levariam aos valores corretos de Sh e S_v .

As tabelas 7.1 a 7.4 indicam uma variação de S_v x profundidade, bem compatível com os valores de variação de S_u x profundidade (ver figuras 6.9, 6.15 e 6.21). Os ângulos para os quais ocorreram estes valores de S_v máximos variam entre 2° e 10° , na grande maioria das determinações. Deve-se notar, também nas figuras 7.1 a 7.17 que as curvas S_v x ângulo de rotação corrigido, em muito se assemelhavam às curvas de S_u x ângulo de rotação apresentadas nas figuras 6.1 a 6.3.

No entanto o mesmo não ocorre para os valores de Sh x profundidade constantes das mesmas tabelas acima citadas. Para se obter valores de Sh/S_v próximos da curva proposta por Bjerrum (1973) aqueles teriam de ser 50% inferiores.

A tabela 8.7 mostra os ângulos corrigidos correspondentes a valores máximos de torques, após processamento pelo computador. Considerando-se que estes ângulos pertencem ao grupo daqueles que se utiliza para cálculo dos valores de Sh e S_v pelo método de Wiesel e comparando-se os mesmos aos constantes das tabelas 6.1 a 6.3, concluem-se que, principalmente para as palhetas de maiores alturas, aqueles ângulos médios calculados pelo computador apresentam-se com valores bem inferiores. Isto indi-

TABELA 8.7 - ÂNGULOS MÉDIOS CORRIGIDOS CORRESPONDENTES A VALORES MÁXIMOS DE TORQUES EM ENSAIOS DE PALHETA APÓS PROCESSAMENTO DAS CORREÇÕES PELO COMPUTADOR

Profundidade (m)	Sarapuí			Alcântara			Magé		
	Ângulo			Ângulo			Ângulo		
	Pal 1	Pal 4	Pal 6	Pal 5	Pal 4	Pal 6	Pal 5	Pal 4	Pal 6
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	11°	13°	8°	-	-	-	20°	13°	8°
3,5	8°	8°	10°	-	-	-	15°	9°	6°
4,5	9°	7°	10°	9°	8°	13°	19°	8°	8°
5,5	7°	16°	21°	10°	21°	7°	6°	9°	18°
6,5	7°	3°	11°	11°	7°	6°	14°	11°	27°
7,5	8°	14°	13°	-	-	-	14°	13°	9°
8,5	9°	5°	19°	-	-	-	11°	11°	11°
9,5	7°	15°	12°	-	-	-	11°	12°	10°
10,5	-	-	-	-	-	-	7°	12°	9°

Pal 1 - 5,1cm x 10,2cm
 Pal 4 - 18,4cm x 9,2cm
 Pal 5 - 4,6cm x 9,2cm
 Pal 6 - 36,8cm x 9,2cm

ca um certo erro na sistemática adotada para o cálculo destes ângulos influenciando muito na validade de aplicação do processo para determinação de anisotropia.

8.6 - COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE ENSAIOS UU E DE COM PRESSÃO SIMPLES

Um levantamento efetuado em todos os trabalhos que apresentaram resultados de Ensaio de Plaqueta, juntamente com Ensaio UU ou Ensaio de Compressão Simples, indica para a maioria dos diferentes depósitos argilosos valores de resistência não drenada obtidos por "Vane Test" maiores ou no mínimo iguais aos valores obtidos por tais ensaios de laboratório.

Dentre os trabalhos consultados, de Flââte (1966) e La Rochelle, Roy e Tavenas (1974) apresentam valores de Ensaio "Vane" inferiores aos outros dois tipos de ensaios não drenados.

A comparação com valores obtidos em ensaios UU com amostras de 38mm de diâmetro (Relatório da Pesquisa sobre Ensaio de Laboratório - IPR - 1977) é mostrada na figura 8.5. Nota-se que os valores de S_u do "Vane" apresentam-se inferiores aos obtidos em ensaios UU.

Posteriormente, Ramalho Ortigão, (1977) executando ensaios UU com amostras de 100mm de diâmetro e ensaios \overline{CKOU} -C, aplicou o procedimento SHANSEP e obteve valores de S_u menores que os do Ensaio de Plaqueta, para o depósito do Sarapuí.

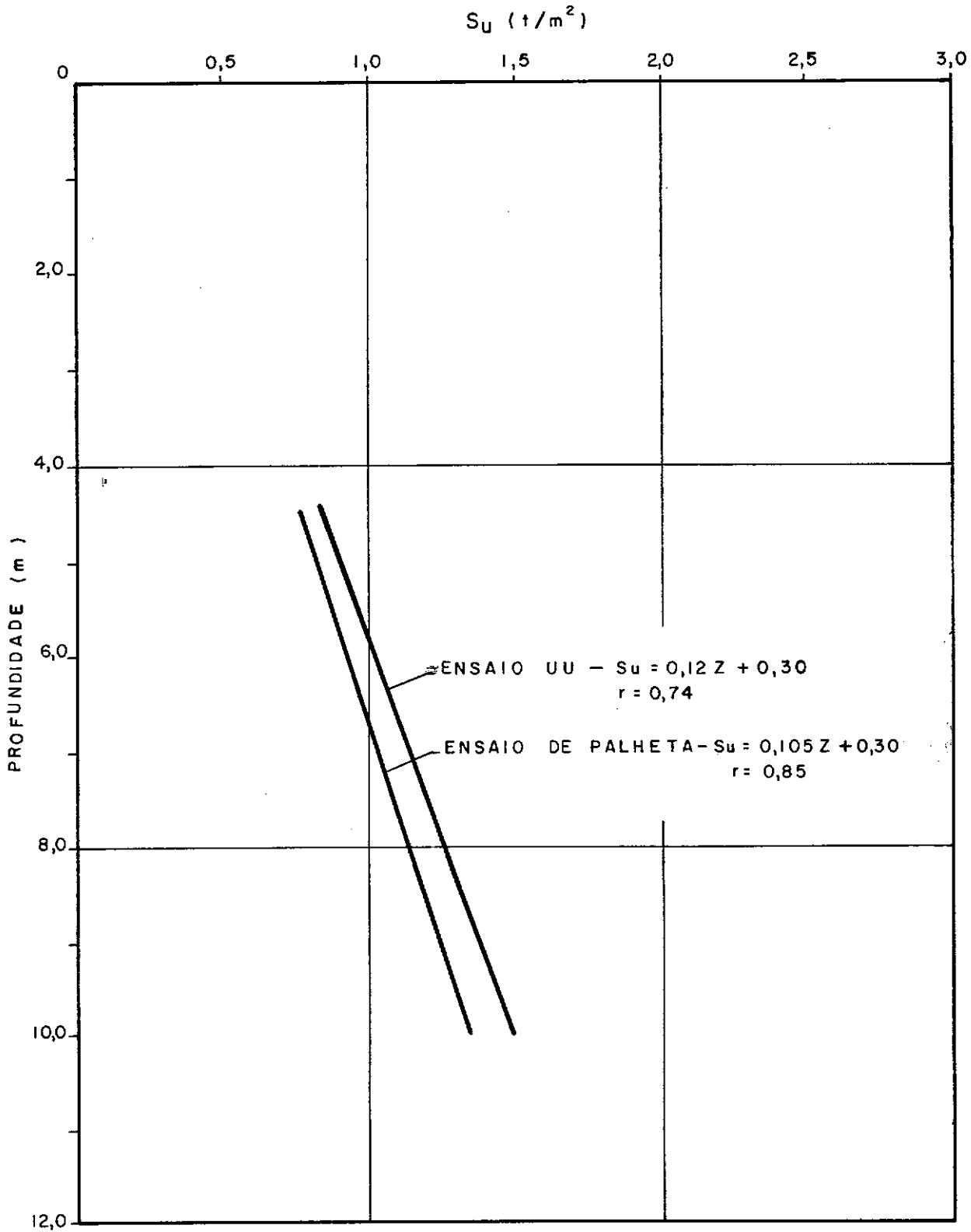


FIGURA 8-5 - COMPARAÇÃO DE VALORES DE S_u - ENSAIO UU e ENSAIO DE PALHETA.
LOCAL: SARAPUÍ

8.7 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÂNGULOS CORRESPONDENTES AOS MOMENTOS MÁXIMOS DOS ENSAIOS

Conforme indicado no início do capítulo 6, efetuou-se um levantamento dos ângulos correspondentes aos momentos máximos em cada um dos ensaios realizados no Sarapuí, Alcântara e Magé. Aplicando-se aos mesmos correções devidas e já anteriormente citadas, foram preenchidas os quadros apresentados nas tabelas 6.1 a 6.3.

Nota-se, perfeitamente uma tendência ao aumento dos ângulos de deformação com o valor de torque, na ruptura.

Um gráfico ângulo médio de ruptura para cada palheta x torque médio também na ruptura, para cada palheta, foi executado e está apresentado na figura 8.6.

Com exceção de três pontos (um para o Sarapuí - palheta menor e dois para Magé - duas palhetas maiores), os demais podem ser tomados como pertencentes a uma reta, que calculada por regressão, levando em consideração estes três pontos, apresenta como equação $\theta = 0,023 T + 7,4$ ou como aproximando-se de uma curva conforme mostrado na mesma figura.

Esta grande variação de ângulos deve-se principalmente, à deformação angular na haste fina ao serem aplicados os momentos. A menor deformação angular para a palheta do Sarapuí, é explicada pela utilização de uma haste fina de comprimento menor (15cm ao invés de 75cm) conforme anteriormente informado.

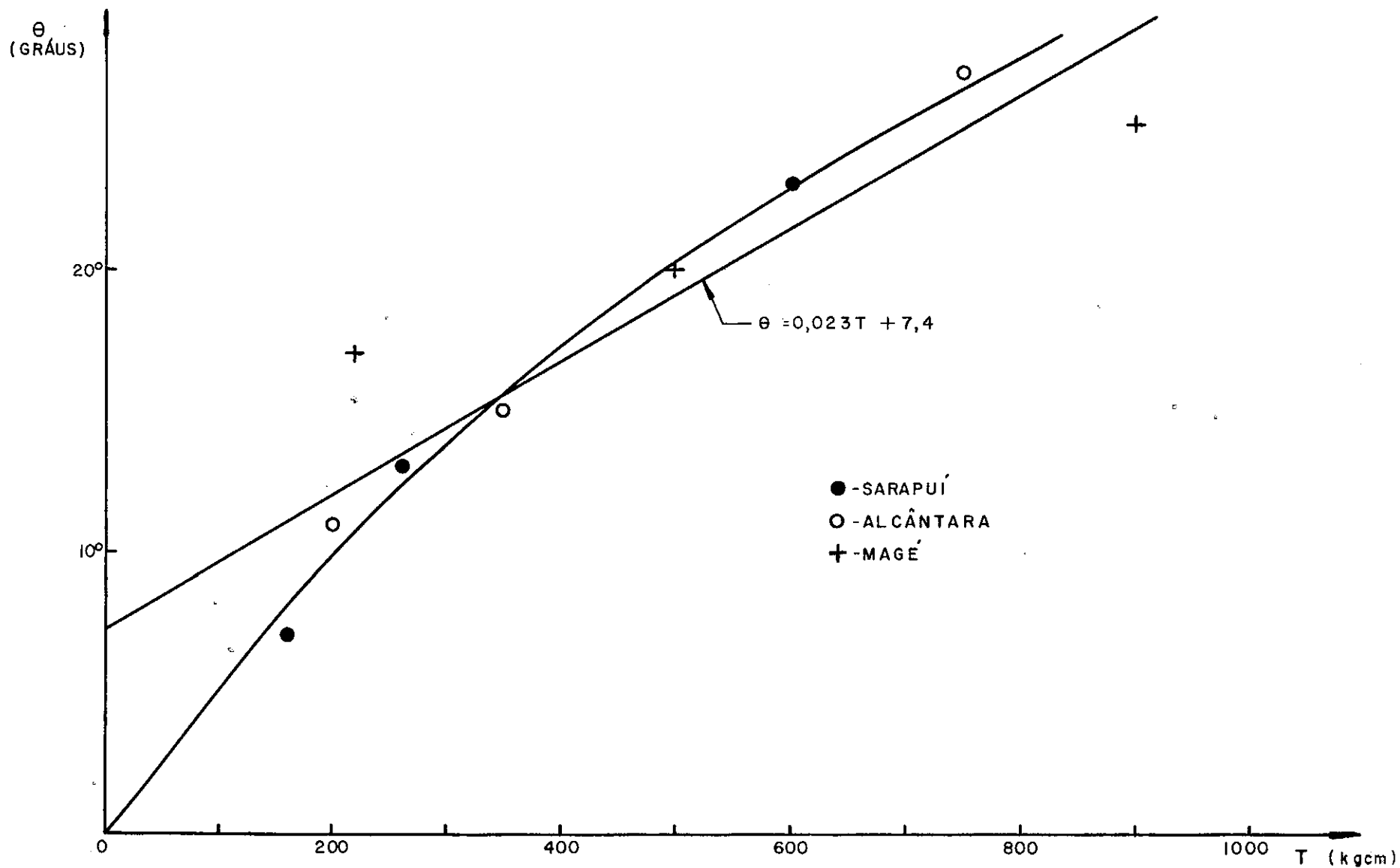


FIGURA 8.6 -VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE ROTAÇÃO CORRIGIDO COM O TORQUE APLICADO, NA RUPTURA.

9 - CONCLUSÕES

- 1 - Os valores de resistências não drenadas obtidos de ensaios de palheta são maiores do que aqueles mobilizados nas superfícies de ruptura quando de escorregamentos de aterros sobre solos compressíveis. Isto equivale a dizer que os valores obtidos nos ensaios "Vane", quando aplicados em análise de estabilidade desses aterros, acarretam coeficientes de segurança irreais, e não conservativos;
- 2 - A principal vantagem do Ensaio de Palheta sobre os outros métodos de campo ou de laboratório, para determinação de S_u , constitui-se na rapidez e no seu baixo custo;
- 3 - Como poder-se-á notar de uma inspeção à tabela 3.1, os últimos trabalhos de determinação de resistência não drenada com o "Vane Test" vêm sendo executados com os equipamentos projetados pelo SGI e NGI, compostos de bainha de proteção da palheta e dispositivo anti-atrito;
- 4 - Os valores de sensibilidade obtidos por diversos autores através de Ensaios de Palheta são geralmente menores que os obtidos através de Ensaios de Laboratório. Isto significa que a rotina de execução de Ensaios com material "amolgado" através do "Vane Test" não é a mais apropriada para a determinação deste índice;

- 5 - Os diâmetros das palhetas a serem utilizadas em uma campanha de Ensaio de Palheta são função da consistência da argila que forma o depósito. Quanto menor esta consistência maior deverá ser o diâmetro das palhetas. No caso de utilização de vários tipos de palheta, recomenda-se que tenham o mesmo diâmetro e espessura de lâmina, variando tão somente a altura;
- 6 - Embora a indicação em contrário por Schmertmann (1975), a utilização de equipamentos diferentes pode levar à obtenção de resultados diferentes, bastando para isto, que um determinado equipamento não esteja "calibrado" devidamente para os torques devidos a atritos;
- 7 - Além de todas as variáveis que podem afetar o valor da resistência não drenada (anisotropia, variação de pressões efetivas durante a cravação da palheta e a sua rotação, ruptura progressiva, efeito de tempo, etc.), no atual estágio ou mais precisamente com o equipamento disponível, os ensaios executados nos três locais pesquisados mostraram ser os valores obtidos dependentes do atrito entre os componentes do aparelho utilizado;
- 8 - As incertezas nas medidas de resistência não drenada nos depósitos pesquisados, têm como fontes principais, o erro de adoção da constante da mola para pequenos momentos medidos e a grande dispersão de valores de atrito no aparelho atuando principalmen

te sobre valores mais baixos de torques.

Os valores de resistência provenientes de torques inferiores a 300kg.cm são os mais influenciados pelos fatores relatados acima.

A causa primordial dos erros provenientes da calibração, seria a pouca acurácia de medida para pequenos torques. Para os erros provenientes da segunda fonte seria o posicionamento relativo ao conjunto de hastes e tubo de revestimento, que influenciaria nos valores de atrito;

- 9 - O insucesso de ensaios com palhetas de diâmetro 5,1cm deveu-se ao fato de que os torques obtidos com os mesmos da ordem de 30kg.cm a 200kg.cm foram muito afetados pelas causas apontadas acima (esforços entre haste e tubo de revestimento e incapacidade de detectar com precisão torques menores que 300kg.cm). Isto pode ser facilmente constatado tirando-se da fórmula 3.12 o valor do momento \underline{M} :

$$M = \frac{\pi}{2} S_u D^3 \left(\frac{H}{D} + \frac{a_u}{2} \right)$$

A melhor maneira de se aumentar \underline{M} consiste em se aumentar o diâmetro \underline{D} . No nosso caso a troca de palhetas de diâmetro 5,1cm para 9,2cm, proporcionou um aumento de aproximadamente seis vezes nos torques;

- 10 - Não há evidência da influência do diâmetro do tubo de revestimento utilizado nos valores de S_u , mesmo considerando o reduzido número de ensaios executa-

dos, com tubo de revestimento de 6 polegadas de diâmetro. Tal conclusão faz-se importante porque o trabalho de cravação de um tubo de 4 polegadas de diâmetro é bem menor que o de 6 polegadas de diâmetro;

11 - A utilização de uma mesma equipe para execução de Ensaio "Vane" é aconselhável, tendo em vista sua característica de trabalho cuidadoso e muito dependente do modo de operação do equipamento.

12 - As hastes de extensão deverão ser providas de roscas de seção quadrada (tais como as de sondagem rotativa).

As hastes finas deverão ter diâmetros compatíveis com os torques a que vão estar solicitadas. Não deverão ser tão curtas causando a penetração da palheta em região argilosa amolgada pela tradagem ou ainda pela bainha, nem tão compridas que contribuam com deformação angular considerável no ângulo total lido no aparelho. Tendo em vista as indicações constantes da bibliografia internacional e a experiência local aqui relatada, este comprimento deve estar compreendido entre 30cm e 50cm;

13 - Para qualquer ensaio realizado em determinado depósito, faz-se boa norma o traçado de curva torque x ângulo de rotação da palheta. Esta providência pode indicar, se bem analisadas tais curvas, problemas de medidas erradas nos valores de S_u relacionados com o mau funcionamento do aparelho.

Após a leitura de deformação máxima, deve-se continuá-las até a tendência de deformação residual;

14 - Quanto maiores os torques máximos (ou alturas das palhetas) maiores os valores do ângulo de rotação correspondentes. A grande variação de ângulos (6° a 35°) deve-se à exagerada deformação angular da haste fina utilizada nos ensaios;

15 - Não foi constatado para os valores de S_u obtidos nos depósitos argilosos da Baixada Fluminense nenhuma relação com a altura da palheta, isto é, os maiores valores obtidos não correspondem aos ensaios com palheta de maior altura ou vice-versa. Conquanto não sejam muito diferentes os valores de S_u obtidos da reta de regressão, considerando-se as três palhetas, os valores mínimos extraídos da região de previsão para 90% dos valores experimentais de S_u , apresentam-se bem diferentes quando se compara os resultados com as três palhetas utilizadas.

Em geral, para o equipamento utilizado, quaisquer relações deste tipo não podem ser conseguidas com sucesso, pois são afetadas pelos erros decorrentes das medidas de torque provenientes da larga faixa de valores do atrito verificado;

16 - Para a palheta de maior altura (36,8cm) foram obtidos os melhores coeficientes de correlação, indicativos de menor dispersão nos valores determinados experimentalmente;

17 - Os valores de S_u para o material considerado "amolgado" apresentaram-se bem mais dispersos que os obtidos com material indeformado. Neste caso, também, a influência da larga faixa de valores de atrito e os valores de torques situados na faixa até 300kg.cm fizeram-se presentes, influenciando nestes resultados;

18 - Conforme se depreende da figura 8.4 mesmo com a utilização da palheta de 5,1cm de diâmetro, alguns ensaios apresentaram valores de S_u dentro do esperado (número de pontos localizadas à esquerda no gráfico). Deve-se este fato a um posicionamento conjunto de hastes - tubo de revestimento, proporcionando menores valores de atrito.

Nos pontos localizados na nuvem de pontos da direita, os valores dos atritos foram de tal ordem que influenciaram muito nos resultados.

19 - O método de Aas para os depósitos de Sarapuí e Magé indicou valores de anisotropia de resistência não drenada, próximas da curva proposta por Bjerrum (1973).

Os valores encontrados pelo Método de Wiesel para os três depósitos foram superiores ao esperado de acordo com a mesma curva.

20 - A pouca acurácia do aparelho de medida e os erros nas medidas de atrito podem ser apontados como as principais causas do insucesso na aplicação do Método de Wiesel, quando se necessita de obter variação de Sh e S_v , a cada grau de rotação da palheta.

10 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- 1 - Estudo de um processo utilizando a mesa de calibração no sentido de se pesquisar a formação da superfície de ruptura por meio de ensaios superficiais em laboratório.

Como indicação é proposto o aperfeiçoamento do já utilizado por Cadling e Odenstad (1950);

- 2 - Execução de uma nova série de ensaios de atrito, utilizando principalmente o dispositivo com a finalidade de confirmar os valores empregados nos cálculos de S_u do presente trabalho;

- 3 - Determinação de novos valores de resistência não drenada, executando-se ensaios com haste fina de comprimento menor (por exemplo 40cm), de tal maneira a se poder comparar as novas curvas torque x ângulo de rotação de palheta com as já obtidas, diminuir a torção nesta haste e verificar a influência deste encurtamento nos resultados de ensaios de atrito. Tendo em vista ainda os valores de diâmetro da haste fina utilizada, em outros equipamentos (tabela 3.1) poderia ser empregada uma palheta com haste fina de 2,0cm de diâmetro ao invés da atual haste fina de 1,25cm de diâmetro;

- 4 - Verificação da influência do tempo decorrido entre a cravação da palheta e o início do ensaio. Execução de ensaios 24 horas, 48 horas, 72 horas ou mais horas após a cravação da palheta;

- 5 - Realização de ensaios seguindo o critério de escolhas de velocidade sugerida por Perlow e Richards (1977).

Para o diâmetro da palheta 9,2cm a velocidade seria de 12^o/min, o dobro da utilizada nos ensaios desta pesquisa;

- 6 - Realização de ensaios com a mola de constante aproximadamente igual à metade da empregada nestes ensaios e com deflectômetro mais preciso, no sentido de se obter maior precisão nas leituras e testar o sistema de fixação da mola por meio de calços comparando os resultados encontrados com os já obtidos;

- 7 - Através de ensaios próximos à superfície do terreno, determinação de um número maior de dados de resistência às profundidades 0,5m, 1,0m 1,50m e 2,0m;

- 8 - Determinação da resistência de argila amolgada através da "quebra" de sua estrutura pela ação de golpes desferidos por uma haste ou mesmo pela própria haste com a palheta na ponta. Estes ensaios poderiam ser realizados logo após o amolgamento 24 horas, 48 horas, 72 horas ou mais horas depois. Far-se-ia assim a comparação de resultados com os já obtidos pela rotina atual de "amolgar" o solo, em ensaios "Vane";

- 9 - Introdução das hastes sem furação prévia, tal como executado com equipamento Nilcon ou Geotech.

Neste caso haveria um atrito considerável entre as hastes e o solo. Seriam realizados depois ensaio com haste cega para avaliação deste atrito e posterior desconto do torque total obtido. Os valores de Su assim obtidos seriam também comparados com os já conhecidos. Logicamente esta inserção teria de ser sem auxílios de nenhum equipamento de cravação, numa primeira etapa, limitando assim esta experiência a uma profundidade máxima possível de cravação;

- 10 - Verificação do grau de aleatoriedade do posicionamento relativo conjunto de hastes A - tubo de revestimento, realizando-se por exemplo dez ensaio a mesma profundidade, em dez furos diferentes, utilizando o conjunto de hastes A, formado sempre na mesma sequência e medindo-se os torques para o ensaio com argila indeformada e logo após medindo-os para 720° de rotação;

- 11ⁱ - Interessante seria que, pelo menos em determina-da região, instituições de pesquisas, firmas ou quaisquer órgãos públicos que possuam equipamen-to para Ensaio de Palheta, procurassem calibrar esses aparelhos, com ensaios em um mesmo depôsi-to, utilizando os resultados em análise de esta-bilidade de aterros-teste ou escorregamentos;

- 12 - Realização de uma série de ensaios com tubo de revestimento de 6 polegadas de diâmetro com a finalidade de se comparar valores com os já executados com tubo de revestimento de 4 polegadas de diâmetro. Deve ser verificada a influência do diâmetro quanto ao funcionamento relativo com o conjunto de hastes, bem como, sua influência numa possível maior perturbação do solo abaixo dele;
- 13 - Tentativa de determinação da anisotropia de resistência ao cisalhamento através do emprego de palhetas losangulares. Ao mesmo tempo esta determinação também seria feita pelos métodos de Aas e Wiesel, mas com a utilização de no mínimo cinco palhetas diferentes, de modo a se obter valores mais seguros;
- 14 - Todas as incertezas nos valores obtidos, de resistência ao cisalhamento não drenado, tanto para a argila indeformada como para a argila "amolgada", de atritos no equipamento, de valores de anisotropia, etc. levam a uma conclusão mais geral no sentido de que o aperfeiçoamento do equipamento empregado faz-se importante, para a melhoria das respostas exigidas ao mesmo. Interessante seria neste caso executar-se o equipamento cuja parte inferior dotada de suporte de proteção da palheta, dispositivos especiais de maneira a

diminuir a influência dos atritos, etc., já se encontra projetada.

Poder-se-ia testar inicialmente a parte já projetada, utilizando a mesa de aplicação, de torques existente. . Posteriormente então seria projetada, já levando em consideração estes novos resultados, uma mesa capaz de introduzir a melhoria definitiva no equipamento, equiparando-o aos atualmente utilizados nos mais diversos institutos de pesquisas e firmas de engenharia em todo o mundo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AAS, G. (1965), "A Study of the Effect of Vane Shape and Rate of Strain on the Measured Values of In Situ Shear Strength of Clays" - Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech.
- 2 - AAS, G. (1967), "Vane Tests for Investigation of Anisotropy of Undrained Shear Strength of Clays", Proc. Geotech. Conf. Oslo, 1967.
- 3* - AAS, G. (1973), "Comunicação Pessoal na ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties" - Conforme citação de Schmertmann (1975).
- 4 - ALDRICH, H.P. Jr. (1953), Discussão do Artigo "Vane" Borer on Foundation Investigation of Fill por Bennett e Mecham. Proceedings of Thirty Second Annual Meeting, Highway Research Board, pp 497-498.
- 5* - AMAR, S., BAGUELIN, F., JEZEQUEL, J.F. e MEHAUTE, A. (1975), "In Situ Shear Resistance of Clays" - ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.
- 6 - ANDRESSEN, A. e BJERRUM (1956), "Vane Testing in Norway". Contributions from Scandinavia. Discussion. Society for Testing Materials. Special Technical Publications, nº 193, pp 54-60.

- 7 - ARMAN, A., POPLIN, J.K. e AHMAD, N., (1975), "Study of the Vane Shear" - ASCE, Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, pp 93-120.
- 8* - BAGHOOMIAN, O, (1972), "Field Instrumentation, Loading and Testing". University of Utah.
- 9 - BENNETT, G.B. e MECHAM, J.G., (1953), "The of Vane Borer on Foundation Investigation of Fill". Proceedings of Thirty Record Annual Meeting, Highway Research Board, pp 486-496.
- 10 - BILLAM, J., (1977), "Correlations Between Cone Resistance and Vane Shear Strength in Some Scandinavian Soft to Medium Stiff Clays", Canadian Geotechnical Journal, vol. 14, n° 2, pp 272-213.
- 11 - BJERRUM, L., (1972), "Embankments on Soft Ground" - ASCE- Proceedings of the Speciality Conference on Perfoman- ce of Earth and Earth Supported Structures - Purdue University. pp 1-54.
- 12 - BJERRUM, L., (1973), "Problems of Soil Mechanics and Cons^u truction on Soft Clays and Structurally Unstable Soils". Proceedings of the Eighth International Con- ference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscow, vol. 3, pp 111-159.

- 13 - BROOKER, E. e IRELAND, H., (1965), "Earth Pressures at Rest Related to Stress History". Canadian Geotechnical Journal, vol. II, nº 1.
- 14 - CADLING, L e ODENSTAD, S., (1950), "The Vane Borer" Proceedings, Royal Swedish Geotechnical Institute, nº 2.
- 15 - CASAGRANDE, Arthur e CARRILLO, Nabor, (1944), "Shear Failure of Anisotropic Materials", Journal of the Boston Society of Civil Engineers. Vol. XXXI, nº 4, pp 122-135.
- 16 - COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira, "Estatística. São Paulo, Edgar Blücher, 1977.
- 17 - COUTINHO, Roberto Quental, "Características de Adensamento com Drenagem Radial de uma Argila Mole da Baixada Fluminense". Tese Apresentada para Obtenção do Grau de Mestre. COPPE, UFRJ, 1976.
- 18 - DASCAL, O e TOURNIER, Jean Pierre, (1975), "Embankments on Soft, and Sensitive Clay Foundation", Journal of the Geotechnical Engineering Division.
- 19 - DUNCAN, James M. e SEED, Bolton H., (1966), "Anisotropy and Stress Reorientation in Clay", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. American Society of Civil Engineers. pp 21-50.

- 20 - EDEN, W.J. e HAMILTON, J.J., (1956), "The Use of Field Vane Apparatus in Sensitive Clay", Symposium, Vane Shear Testing of Soils, ASTM SPT 193, pp 41-53.
- 21 - FENSKE, C.W., (1956), "Deep Vane Test in Gulf of Mexico", Symposium, Vane Shear Testing of Soils, ASTM, STP 193, pp 17-25.
- 22 - FLAATE, K., (1966), "Factors Influencing the Results of Vane Tests", Canadian Geotechnical Journal, Vol. III, nº 1, pp 18-31.
- 23 - FLAATE, K and PREBER, T., (1974), "Stability of Road Embankment in Soft Clay", Canadian Geotechnical Journal, Vol. III, nº 1, pp 72-88.
- 24* - FREEMAN, W.S. e SUTHERLAND, H.B., (1974), "Slope Stability Analysis in Anisotropic Winnipeg Clays", Canadian Geotechnical Journal, Vol. II, nº 1, pp 59-71.
- 25 - GIBBS, H.J., (1956), "An Apparatus and Method of Vane Shear Testing of Soils", ASTM STP 193, 1956.
- 26 - GOUGHNOUR, R.D. e SALLBERG, J.R., (1964), "Evaluation of the Laboratory Vane Shear Test", Materials Research Division, Bureau of Public Roads.
- 27 - GREGERSEN, O.S., (1975), "Use of Vane Shear Test for Determining the Undrained Shear Strength of Clays", ASCE

Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.

- 28 - HANDY, R.L., (1975), "Measurement of In Situ Shear Strength ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.
- 29* - HANK, R.S. e McCARTY, L.E., (1948), "Shear Failure in Anisotropic Materials Prossessing any Values of Cohesion and Angle of Internal Friction", Texas Highway Depart^{ment}, Proceedings, H.R.B., Vol. 28, pp 449-456.
- 30 - HILL, W.C., (1956), "Vane in Place Soil Shear Device Deve^{loped} and Applied by Oregon State Highway Department", Symposium, Vane Shear Testing of Soils, ASTM SPT 193, pp 26-39.
- 31 - JAMBU, N., (1975)," In Situ Measurement of Shear Strength", ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.
- 32 - KALLSTENIUS, P., (1956), "Swedish Vane Borer Design". Con^{tributions} from Scandinavia. Discussion Society Testing Materials. Special Technical Publications, n^o 193, pp. 60-63.
- 33 - LADD, Charles C., (1971),"Strehgth Parameters and Stress-Strain Behavior of Saturated Clays", Massachusetts Institute od Technology. Research Report R 71-23.

- 34* - LADD, C.C., (1973), "Discussão do Trabalho de Bjerrum (1973) - Apresentado no 8º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações - Moscow.
- 35 - LADD, C.C., (1975), Discussion on "Measurement of In Situ Shear Strength" ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.
- 36* - LA ROCHELLE, P. e LEFEBVRE, G., (1971), "Sampling Disturbance in Champlain Clays", ASTM, Special Technical Publication 483, pp 143-163.
- 37 - LA ROCHELLE, P., ROY, M. e TAVENAS, F., (1973), "Field Measurements of Cohesion in Champlain Clays", Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow.
- 38 - LA ROCHELLE, P., TRAK, B., TAVENAS, F e ROY, M. (1974), "Failure of a Test Embankment on a Sensitive Champlain Clay Deposit", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, nº 1, pp 142-164.
- 39* - LEBLANC, A., (1975), "Analyse de la Resistance on drainé des Argilas Mesuree an Scissometre. Thesis Presented as Partial Fulfillment of the Requirements for the M. Sc. Degree - Université Laval.
- 40 - LEFEBVRE, G. e LA ROCHELLE, P., (1974), "The Analysis of Two Slope Failures in Cemented Champlain Clays", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, nº 1, pp 89-108

- 41 - LEFEBVRE, G., LEFEBVRE, L.M. e ROSENBERG, O., (1974), "Behavior of a Cemented Plastic Clay as an Embankment Foundation", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, n° 1, pp 46-58.
- 42 - LEMASSON, H., (1976), " Une Nouvelle Methode pour la Mesure en Place de l'Anisotropie des Argiles" - Bulletin de Liaison, des Laboratoires des Ponts et Chaussées - Stabilité des Talus, 2 - Deblais et Remblais. pp 107 - 116.
- 43 - LEUSSINK, H. e WENZ, K.P., (1967), "Comparison of Field Vane and Laboratory Shear Strengths of Soft Cohesive Soils", Oslo.
- 44* - LIVNEH e SHKLARSKY, E., (1964), "Equations of Failure Stresses in Materials with Anisotropic Strength Parameters", Israel Institute of Technology, H.R. Record 74, pp 44-54.
- 45 - LO, K.Y. e LEE, C.F., (1974), "An Evaluation of the Stability of Natural Slopes in Plastic Champlain Clays", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, n° 1, pp 165-181.
- 46 - LUNNE, T., (1975), "Correlations Between Vane Shear Strength and Cone Resistance in Some Norwegian Soft Clays", ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties.

- 47 - LUNNE, T., EIDE, O. e RUITER, S., (1976), "Correlations Between Cone Resistance and Vane Shear Strength in Some Scandinavian Soft to Medium Stiff Clays", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 13, nº 4.
- 48 - MENZIES, B.K., (1976), "An Approximate Correction for the Influence of Strength Anisotropy on Conventional Shear Vane Measurements Used to Predict Field Bearing Capacity". Technical Notes - Geotechnique, Vol. 26, nº 4, pp 631-634.
- 49 - MENZIES, B.K. e MAILEY, L.K., (1976), "Some Measurements of Strength Anisotropy in Soft Clays Using Diamond - Shaped Shear Vanes". Technical Notes - Geotechnique Vol. 26, nº 3, pp 535-538.
- 50 - NOORANY, Iraj e SEED, Bolton, H., (1965), "In Situ Strength Characteristics of Soft Clays". Soil Mechanics and Foundations Division. American Society of Civil Engineers, pp 49-80.
- 51 - OSTERBERG, J.O., (1956), "Introduction Symposium on Vane Shear Testing of Soils, ASTM STP 193, pp 1-7.
- 52 - PARRY, R.H., (1971), "Stress Strain Behavior of Soils". Proceedings of the Roscoe, Memorial Symposium Cambridge University.

- 53 - PERLOW, M., RICHARDS, A.F., (1977), "Influence of Shear Velocity on Vane Shear Strength", Journal of the Geotechnical Engineering Division . ASCE - pp 19-32.
- 54 - PILOT, G., (1976), "La Stabilité des Remblais sur Sols Mous" - Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées - Stabilité des Talus. 2 - Deblais e Remblais. pp 83-106.
- 55* - RAYMOND, G.P., (1967), "The Bearing Capacity of Large Footings and Embankments on Clays. Geotechnique 17, n° 1, pp 1-10.
- 56 - RICHARDSON, A.M., BRAND, E.W. e MEMON, A., (1975), "In Situ Determination of Anisotropy of a Soft Clay" - ASCE, Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, pp 336-349.
- 57 - ROY, M., (1975), "Measurement of In Situ Shear Strength", ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, pp 164-167.
- 58 - SCHMERTMANN, J.H., (1975), "The Measurement of In Situ Shear Strength", ASCE Speciality Conference on In Situ Measurement of Soil Properties - State of the Art.
- 59* - SKEMPTON, A.W., (1948), "Vane Tests, in the Alluvial Plain of the River Forth near Grangemouth. Geotechnique, Vol. I, n° 2.

- 60 - STANDARD METHOD FOR FIELD VANE SHEAR TEST IN COHESIVE SOIL, (1972), American National Standards Institute, July.
- 61 - SUPPLY DE LACERDA, F., (1964), "Resistência dos Materiais", Vol. I, Editora Globo, pp 337-401.
- 62 - TAVENAS, F.A., CHAPEAU, C., LA ROCHELLE e ROY, M., (1974), "Immediate Settlements of Three Tests Embankments on Champlain Clay". Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, nº 1, pp 109-141.
- 63* - VEY, E., (1955), Discussão do Artigo "Field Vane Shear Tests of Sensitive Cohesive Soils", por Hamilton Gray. Proceedings ASCE 81, paper 843, pp 17-20.
- 64 VEY, E. e SCHLESSINGER, L., (1949), "Soil Shear Tests by Means of Rotating Vanes". Proceedings of Twenty-ninth Annual Meeting, Highway Research Board, pp 544-553.
- 65 - WIESEL, C.E., (1973), "Some Factors Influencing In Situ Vane Test Results". Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 1, pp 475-479.
- 66 - WILSON, N.E., (1964), "Laboratory Vane Shear Tests and the Influence of Pore-Water Stresses", Laboratory Shear Testing of Soils. ASTM STP 361.

- 67 - WU, Tien H., THAYER, W.B. e LIN, Sheng, S., (1975), "Stability of Embankments on Clay". Journal of the Geotechnical Engineering Division.
- 68 - RAMALHO ORTIGÃO, J.A. (1977) - Comunicação Pessoal.

Obs.: As referências bibliográficas que se encontram marcadas com um asterisco referem-se a publicações consultadas mas não citadas no texto, ou mesmo não consultadas. Neste segundo caso acham-se citadas em quaisquer outras constantes da bibliografia acima apresentada.